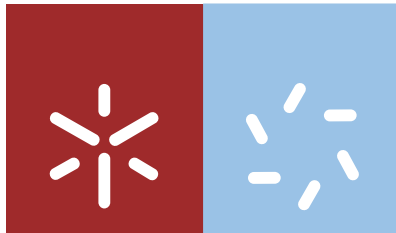


Universidade do Minho
Escola de Ciências

Teresa Mafalda Alves Bastos Peixoto

Avaliação da variação circadiana do erro refrativo



Universidade do Minho

Escola de Ciências

Teresa Mafalda Alves Bastos Peixoto

Avaliação da variação circadiana do erro refrativo

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Optometria Avançada

Trabalho realizado sob a orientação do

Professor Doutor Jorge Manuel Martins Jorge

e do

Professor Doutor José Manuel González-Méijome

Outubro de 2011

DECLARAÇÃO

Nome: Teresa Mafalda Alves Bastos Peixoto

Endereço eletrónico: teresamabp@gmail.com

Número do Bilhete de Identidade: 12376252

Título:

Avaliação da variação circadiana do erro refrativo

Orientador(es):

Professor Doutor Jorge Manuel Martins Jorge

Professor Doutor José Manuel González-Méijome

Ano de conclusão: 2011

Mestrado em Optometria Avançada

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, ____/____/____

Assinatura: _____

*Ao Marco António,
À Família,
Aos Amigos de sempre,
Aos Amigos desta experiência única.*

Agradecimentos

No início de um novo percurso, tudo parece difícil e inatingível, graças a estas pessoas tudo se tornou mais acessível e real. A elas agradeço pelo apoio prestado. Todas deixaram uma pegada nesta minha longa caminhada.

O meu muito Obrigada:

Aos professores Jorge Jorge e José Manuel González-Méijome pela ajuda prestada na execução e orientação científica deste trabalho.

Aos participantes, pela disponibilidade e espontaneidade em colaborarem neste estudo.

Aos colegas de mestrado, que foram essenciais na discussão de temas e ideias, e pelo companheirismo criado – uma verdadeira família MOA.

Às colegas do CEORLab pela ajuda com os instrumentos utilizados. Aos professores do Mestrado em Optometria Avançada, pela procura de voluntários para este estudo. E ao professor António Queirós pela ajuda no subcapítulo da aberrometria.

E por último, mas imprescindível, aos meus pais, que reuniram todas as condições necessárias para que pudesse envergar por uma vida académica e por formarem com princípios a mulher que hoje sou. Ao meu mais que tudo, que aguentou os meus momentos de frustração e que comemorou comigo cada triunfo. À minha irmã, cunhada e sogros pelo apoio fornecido a cada segundo. À restante família que demonstra sempre o amor que sente por mim.

Resumo

Atualmente, os consultórios optométricos ou oftalmológicos praticam cada vez mais horários de consultas alargados. Vários estudos publicados verificaram a existência de uma variação diurna nos componentes oculares. Estes dois fatores justificaram a realização deste estudo, que tem como objetivo verificar a existência de uma variação circadiana do erro refrativo e qual ou quais os componentes oculares que mais contribuem para essa variação.

As variações diurnas foram analisadas em três períodos diferentes do dia: Manhã (das 9h às 12h), Tarde (das 13h às 16h) e Anoitecer (das 17h às 20h).

Neste estudo, verificou-se que apenas a componente astigmática do erro refrativo, J0, e o atraso acomodativo apresentaram uma variação circadiana estatisticamente significativa, mas clinicamente não produziram nenhum impacto no exame refrativo que utiliza as habituais escalas de graduação de 0,25 D entre os seus intervalos.

Em relação aos parâmetros oculares, vários apresentaram uma variação diurna estatisticamente significativa mas nenhuma das flutuações produziu uma variação circadiana clinicamente significativa sobre o erro refrativo. Observou-se também, uma correlação negativa entre o atraso acomodativo e o equivalente esférico (M).

Conclui-se assim, que a magnitude das flutuações encontradas na componente do astigmatismo (J0) e no atraso acomodativo podem explicar a presença de determinada sintomatologia (cansaço ocular ou stress visual) apresentada ao final do dia.

Abstract

Today, optometrists and ophthalmologists have a wider consultation time. Several published studies have verified the existence of a diurnal variation on various components of the eye. These two factors justify the need of this study, which aims to verify the existence of a circadian variation on refractive error and what(s) component(s) of the eye(s) that contribute most to this variation.

The diurnal variations were analyzed in three different periods of the day: Morning (9am to 12pm), Afternoon (1pm to 4pm) and Dusk (5pm to 8pm).

In this study, only the astigmatic component of refractive error, J0, and accommodative lag showed a significant statistically circadian variation but in clinically it has no impact on refractive examination with the usual scale of 0.25 D between their ranges.

Several ocular parameters showed a diurnal variation but these fluctuations do not produce a clinically significant change on refractive error. There was a negative correlation between accommodative lag and spherical equivalent refraction (M).

The fluctuations found in component of astigmatism (J0) and accommodative lag may explain the presence of certain symptoms (eyestrain or visual stress) present at the end of the day.

Índice

Agradecimentos	V
Resumo	Vii
Abstract	Ix
Índice	Xi
Índice de Figuras	Xv
Índice de Tabelas	Xvii
Lista de Abreviaturas	Xix
 <i>Capítulo 1 - Introdução</i>	 21
 <i>Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica</i>	 25
2.1 - Sistema Visual	25
2.1.1 - Características da córnea	26
2.1.2 - Características do cristalino	27
2.1.3 - Características da câmara anterior e câmara vítrea	27
2.2 - Componentes óticos oculares	28
2.2.1 - Influência sobre o erro refrativo	28
2.2.2 - Variações ao longo da idade	29
2.3 - Disfunções Visuais	30
2.3.1- Erros refrativos	30
2.3.2 - Problemas de visão binocular	31
2.3.2.1 - Forias e Tropias	31

2.3.3 - Problemas acomodativos	32
2.4 - Aberrometria	33
2.4.1 - Aberrações cromáticas	34
2.4.2 - Aberrações monocromáticas	34
2.4.2.1 - Polinómios de Zernike	35
2.5 - Pressão intraocular	36
2.6 - Variação diurna dos parâmetros oculares	37
2.6.1 - Córnea	38
2.6.1.1 - Correlação entre a variação da espessura e curvatura corneal	39
2.6.1.2 - Motivos para o aumento da espessura corneal	40
2.6.1.3 - Análise das aberrações corneais	40
2.6.1.4 - Córnea versus trabalho em visão próxima	41
2.6.1.5 - Córnea versus PIO	42
2.6.2 - Profundidade da Câmara anterior	43
2.6.3 - Comprimento Axial	44
2.6.3.1 - Comprimento axial versus PIO	44
2.6.3.2 - Comprimento axial versus coróide	44
2.6.3.3 - Comprimento axial versus acomodação	45
Capítulo 3 - Metodologia	47
3.1 - Amostra	47
3.1.1 - Cálculo da amostra necessária	50
3.1.2 - Critérios de inclusão e exclusão	50
3.1.3 - Questões de ética	50
3.2 - Exames	51
3.2.1 - Questionário	51
3.2.2 - Exames de seleção	52
3.2.3 - Autorrefractómetro	52
3.2.4 - Biómetro	54
3.2.5 - Tonómetro	54

3.2.6 - Aberrómetro	55
3.3 - Análise estatística	56
3.3.1 - Variáveis	57
3.3.2 - Normalidade dos dados	59
3.3.3 - Testes paramétricos e não paramétricos	59
3.3.3.1 - Testes paramétricos para amostras emparelhadas	60
3.3.3.2 - Testes não paramétricos para amostras emparelhadas	61
3.3.3.3 - Testes de correlação	61
Capítulo 4 - Resultados	63
4.1 - Variação circadiana do erro refrativo	64
4.1.1 - Variação circadiana do atraso acomodativo	65
4.2 - Variação circadiana dos parâmetros oculares	66
4.2.1 - Variação circadiana dos componentes óticos oculares	66
4.2.2 - Variação circadiana da pressão intraocular e das propriedades biomecânicas da córnea	67
4.2.3 - Variação circadiana das aberrações oculares	69
4.3 - Correlações lineares existentes entre as variáveis estudadas	71
Capítulo 5 - Discussão	73
Capítulo 6 - Conclusão	79
Capítulo 7 - Bibliografia	81

Índice de Figuras

Figura 1 - Olho esquemático de <i>Gullstrand-Emsley</i> .	26
Figura 2 - Alterações nos COO com a idade.	29
Figura 3 - Efeitos da aberração cromática utilizando uma luz branca e uma lente convergente.	34
Figura 4 - Representação dos Polinómios de Zernike.	36
Figura 5 - Pressão exercida sobre as diferentes estruturas oculares.	37
Figura 6 - Frequência relativa da idade na amostra.	48
Figura 7 - Distribuição de géneros na amostra.	48
Figura 8 - Frequência relativa dos erros refrativos.	48
Figura 9 - Frequência relativa do atraso acomodativo.	49
Figura 10 - Frequência relativa do estado fórico.	49
Figura 11 - Autorrefractómetro de campo aberto.	53
Figura 12 - IOLmaster.	54
Figura 13 - Ocular Response Analyzer.	54
Figura 14 - Aberrómetro IRX3: Images Eyes.	55
Figura 15 - Variação dos valores dióptricos médios dos componentes do erro refrativo ao longo do dia.	65
Figura 16 - Variação, em milímetros, do comprimento axial (CA) e da profundidade da câmara anterior (PCA) ao longo do dia.	67
Figura 17 - Variação dos valores da Pressão intraocular (normal (PIOg) e corrigida (PIOcc)), fator de resistência (CRF) e histerese corneal (CH), ao longo dos três períodos do dia, respetivamente.	68
Figura 18 - Variação dos valores, em microns, das aberrações corneais, ao longo dos três períodos do dia.	70

Índice de Tabelas

Tabela 1. Valores normais para cada COO referidos por <i>Gullstrand-Emsley</i> .	28
Tabela 2. Variação dos valores médios e desvio-padrão dos componentes do erro refrativo ao longo do dia e respetiva significância estatística.	64
Tabela 3. Variação dos valores médios e desvio-padrão do atraso acomodativo ao longo do dia e respetiva significância estatística.	65
Tabela 4. Variação dos valores médios e desvio-padrão do comprimento axial (CA), e da profundidade da câmara anterior (PCA), ao longo do dia e respetiva significância estatística.	66
Tabela 5. Variação dos valores médios e desvio-padrão da Pressão intraocular (normal (PIOg) e corrigida (PIOcc)), fator de resistência (CRF) e histerese corneal (CH), ao longo do dia e respetiva significância estatística.	68
Tabela 6. Variação dos valores médios e desvio-padrão das aberrações corneais ao longo do dia e respetiva significância estatística.	69
Tabela 7. Correlações estatisticamente significativas entre as variáveis estudadas nos três períodos do dia.	71

Lista de Abreviaturas

α – Nível de significância	OE – Olho esquerdo
CA – Comprimento axial	p – p-value
CH – Histerese corneal	PCA – Profundidade da câmara anterior
COO – Componentes óticos oculares	PCV – Profundidade da câmara vítrea
CRF – Fator de resistência da córnea	PIO – Pressão intraocular
D – Dioptrias	PIOcc – Pressão intraocular sem influência da espessura e propriedades biomecânicas da córnea
DP – Desvio padrão	PIOg – Pressão intraocular tendo em consideração a espessura e propriedades biomecânicas da córnea
EC – Espessura do cristalino	Q – Asfericidade corneal
H_0 – Hipótese nula	r – Coeficiente de correlação
H_a – Hipótese alternativa	RC – Raio de curvatura
J_0 – Componente do astigmatismo no meridiano horizontal e vertical	r_1 / RCA – Raio de curvatura anterior
J_{45} – Componente do astigmatismo no meridiano de 45° e 135°	r_2 – Raio de curvatura posterior
I – Espessura	RFN – Reservas fusional negativas
M – Equivalente esférico	RFP – Reservas fusional positivas
mm – Milímetros	VB – Visão binocular
mmHG – Milímetros de mercúrio	μm – Microns
n – Índice de refração	
nm – Nanómetros	
OD – Olho direito	

Capítulo 1 - Introdução

O olho encontra-se em constante desenvolvimento desde a sua formação enquanto feto até ao início da adolescência (cerca dos 13 anos). Todos os seus constituintes sofrem alterações com a finalidade de atingir a emetropia e mantê-la com o avançar da idade.¹

As distâncias lineares existentes entre os componentes oculares, as diferenças de índices de refração que os constituem e as suas curvaturas, proporcionam a manutenção da emetropia ou o aparecimento de um erro refrativo como a miopia, hipermetropia ou astigmatismo.

Embora a maioria dos investigadores concorde que o erro refrativo tenha alguma influência genética, existem algumas evidências que têm demonstrado que o seu aparecimento pode ser influenciado pela interação com o meio ambiente. A manifestação da refração pode ainda estar associada à idade, escolarização ou localização geográfica do indivíduo.²

Vários estudos têm sido efetuados com a finalidade de descobrirem quais os componentes oculares que mais contribuem para o aparecimento e desenvolvimento do erro refrativo. Ao longo desta pesquisa verifica-se que estes, para além de variarem com os fatores acima referidos, apresentam também uma variação circadiana. Esses estudos demonstraram, por exemplo, que a córnea é mais grossa e plana ao despertar e mais fina e curva ao final do dia;³⁻⁸ a pressão intraocular é maior nas primeiras horas do dia;^{9,10} e o comprimento axial é maior ao meio-dia.^{11,12}

Outro dos motivos para se sujeitar que a refração pode variar ao longo do dia é o facto de a maioria das pessoas utilizarem a visão próxima nas suas profissões, uma vez que, existem estudos que demonstram que o processo acomodativo pode provocar

alterações nos valores do erro refrativo, nomeadamente, existem alterações de curvatura do cristalino durante o processo de acomodação;^{13,14} durante a leitura ou trabalho ao computador existe variações na curvatura corneal e um aumento das aberrações corneais;^{4,15,16} e durante a acomodação a tensão exercida pelas fibras da Zónula de Zinn sobre a coroide podem levar a um aumento do comprimento axial.¹⁷

Assim, é de extrema importância relacionar estas variações circadianas com a refração ocular. Tornando-se num tema da atualidade, tendo em conta que cada vez mais os consultórios optométricos e oftalmológicos apresentam horários de consultas alargados. Por este motivo é necessário verificar se a realização de um exame visual pode ser efetuada a qualquer hora do dia ou se existe algum período do dia que seja mais apropriado.

Os principais objetivos deste trabalho são analisar as variações diurnas do erro refrativo e de outros parâmetros oculares. Caso o valor do erro refrativo varie ao longo do dia, pretende-se verificar se existe algum parâmetro que desempenhe um papel preponderante na sua variação, e estabelecer critérios que ajudem o clínico a determinar qual a melhor altura do dia para a realização de um exame visual, evitando assim, possíveis erros, como a hipocorreção ou hipercorreção, que podem contribuir para uma inadaptação à prescrição ou a variações da sintomatologia durante o dia.

Esta dissertação está organizada em sete capítulos, em que o primeiro traduz-se numa breve introdução ao trabalho realizado.

No segundo capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica que inclui seis subcapítulos que descrevem o funcionamento do sistema ocular, as principais características refrativas dos componentes oculares que estão associadas com o desenvolvimento do erro refrativo. Apresenta-se ainda, as alterações dos seus valores com a idade, as principais disfunções visuais e uma breve descrição a determinados termos utilizados ao longo do trabalho como a aberrometria e a pressão intraocular. Neste capítulo, aborda-se também alguns estudos efetuados sobre a variação circadiana dos componentes oculares que servem de base para a realização e fundamento deste trabalho.

A metodologia utilizada ao longo do trabalho é abordada no terceiro capítulo, onde se classifica a amostra escolhida e apresenta-se todos os materiais e exames efetuados. Inclui-se ainda, uma explicação concisa sobre os procedimentos estatísticos empregados.

Todos os resultados e análise estatística encontram-se no quarto capítulo.

O quinto capítulo é constituído pela discussão dos resultados e comparação dos mesmos com outros estudos.

No sexto capítulo apresenta-se as conclusões do trabalho efetuado.

Por último, a bibliografia consultada ao longo de todo este trabalho comparece no sétimo capítulo.

Capítulo 2 - Revisão bibliográfica

Este capítulo é composto por seis subcapítulos, no primeiro faz-se uma breve descrição ao funcionamento do sistema visual e descreve-se as características óticas dos principais componentes oculares.

No segundo subcapítulo apresenta-se os componentes óticos oculares responsáveis pelo aparecimento ou evolução do erro refrativo, inclui-se ainda, a variação dos mesmos com a idade.

As disfunções visuais, nomeadamente, os erros refrativos mais frequentes, os problemas binoculares e acomodativos abordam-se no terceiro subcapítulo.

No quarto e quinto subcapítulos apresenta-se uma breve noção sobre o tema da aberrometria e pressão intraocular, respetivamente, que servirão de esclarecimento para capítulos ou subcapítulos posteriores.

Por último, no sexto subcapítulo aborda-se alguns estudos que servem de suporte à realização deste trabalho. Estes estudos verificam a existência de uma variação diurna dos componentes oculares mas poucos a relacionam com uma possível variação diurna do erro refrativo total do olho.

2.1 - Sistema Visual

O globo ocular (Figura 1) é responsável pela captação da luz refletida pelos objetos. Após a luz ser refratada, primariamente, pela córnea, passa através do humor aquoso, e dirige-se para a íris onde é controlada a quantidade de luz que passa para o cristalino.

No cristalino a luz volta a ser refratada, funcionando como uma lente de focalização que converge os raios luminosos para um ponto focal sobre a retina, a fóvea.

A retina é composta por milhares de células sensíveis à luz, conhecidas como fotorreceptores: os bastonetes, que proporcionam a visão em preto e branco e a visão noturna; e os cones, que proporcionam a visão em condições de boa iluminação e a visão das cores. Os cones encontram-se maioritariamente na fóvea, conferindo-lhe uma característica que a distingue da restante retina pois é a zona de maior acuidade visual, fora desta zona a acuidade visual vai gradualmente diminuindo, à medida que, a concentração de cones diminui. A luz, antes de atingir os fotorreceptores, passa por outro tipo de células que também preenchem a retina: as células bipolares, as células amácrinas e as células ganglionares. Deste modo, a retina é responsável por transformar os impulsos luminosos em impulsos nervosos, conduzindo-os para o nervo ótico.

O nervo ótico, constituído pelos axónios das células ganglionares, transmite por sua vez, os impulsos nervosos ao cérebro, que os interpreta. O cérebro é ainda capaz de reunir os impulsos nervosos provenientes dos dois olhos numa única imagem.

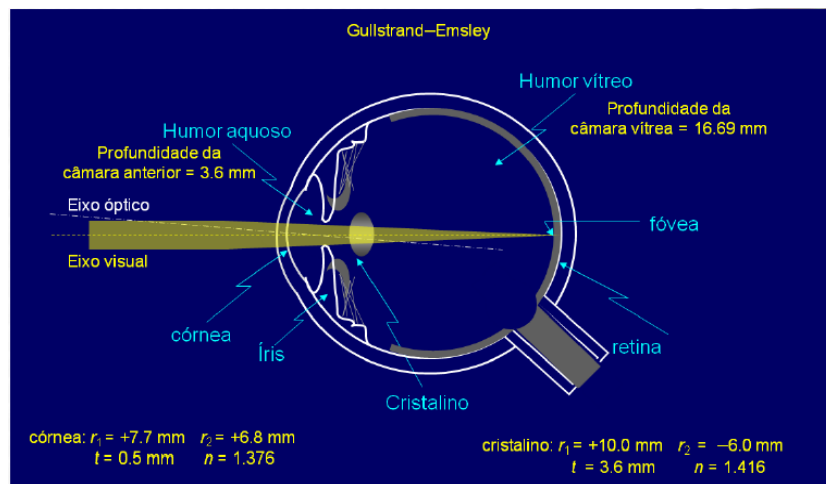


Figura 1 - Olho esquemático de *Gullstrand-Emsley*. (Bennet & Rabbetts, *Clinical Visual Optics*. Ed. Rabbetts RB.; pp. 125-153; Butterworth Heinemann Elsevier, London 2007).

2.1.1- Características da Córnea

A córnea saudável possui um poder refrativo que pode variar entre as +39,00 e as +48,00 dioptrias (D), e uma espessura média de 0,50 mm na região central e de 0,65 mm ou mais na região periférica. As suas propriedades óticas são determinadas pelos

fatores: transparência, curvatura e índice de refração (com um valor aproximado de 1,376). O poder refrativo da córnea pode ser calculado através da diferença de índices de refração entre as suas superfícies dividindo-o pelo raio de curvatura da córnea.

Ao longo do trabalho, sempre que se refira raio de curvatura da córnea, deve-se interpretar como as alterações sofridas na curvatura da córnea anterior (RCA).

2.1.2 - Características do Cristalino

O valor dióptrico do cristalino varia entre as +15,00 D e as +25,00 D, apresenta um índice de refração crescente desde a sua superfície anterior até ao núcleo e vai diminuindo progressivamente até à sua superfície posterior, para efeitos de cálculos assume-se um índice de refração médio de 1,416.

O cristalino tem a capacidade de variar a sua potência, alterando a sua forma e espessura, de forma a focalizar o objeto a distâncias diferentes (longe, perto ou distâncias intermédias), este processo designa-se por acomodação.

Com a idade (a partir aproximadamente dos 45 anos) a capacidade acomodativa do cristalino diminui para valores que impossibilitam uma visão nítida ao perto dando origem ao que se conhece por presbiopia.

2.1.3 - Características da câmara anterior e câmara vítrea

A profundidade da câmara anterior (PCA) é a distância desde a superfície posterior da córnea até a face anterior do cristalino, num adulto esta distância é de cerca de 3,68 mm. Por sua vez, a profundidade da câmara vítrea (PCV) é o espaço desde a face posterior do cristalino até ao epitélio pigmentar da retina, medindo aproximadamente 16,70 mm, considerando-se o olho de um adulto emetropo.

Uma diminuição da PCA pode originar um aumento no poder refrativo do olho devido à proximidade entre a córnea e o cristalino, como também pode provocar um fecho no ângulo irido-corneano, podendo levar ao aparecimento de uma patologia denominada por glaucoma de ângulo fechado. No caso contrário, quando a PCA aumenta, o poder refrativo do olho diminui.

2.2 - Componentes óticos oculares

As variações das distâncias lineares entre os componentes oculares, os índices de refração e as curvaturas da córnea e cristalino proporcionam alterações no valor do erro refrativo. Em 1948, *Hirsch e Weymouth* mostraram que os componentes oculares com maior influência sobre o aparecimento ou variação do erro refrativo são o raio de curvatura anterior da córnea, a espessura do cristalino (EC), a profundidade da câmara anterior, a profundidade da câmara vítrea e o comprimento (CA).

2.2.1 - Influência sobre o erro refrativo

Na tabela 1 apresentam-se os valores normais para alguns componentes óticos oculares (COO) e qual o impacto das suas variações em termos de valor refrativo.

Um aumento ou diminuição da potência refrativa do olho poderá ser atribuído a uma alteração de um dos COO. Na maioria das vezes, estas alterações não se evidenciam numa mudança do poder refrativo total do olho pois existe uma interação ativa entre todos os componentes oculares. Assim, podem existir alterações simultâneas em um ou mais componentes oculares de forma a anular a alteração ocorrida noutro componente ocular, mantendo um erro refrativo estável ou obtendo a emetropização do olho.

Tabela 1. Valores normais para cada COO referidos por *Gullstrand-Emsley*.

Parâmetro	Valores Normais	Impacto das Alterações
Comprimento Axial	20,00 – 29,50 mm (24,00 mm)	+1,00 mm \approx -2,70 D (Miopia)
Potência Corneal	39,00 – 48,00 D (42,75 D)	+1,00 D \approx -1,00 D (Miopia)
Potência do Cristalino	15,50 – 25,00 D (20,35 D)	+1,00 D \approx -0,67 D (Miopia)
Profundidade da Câmara Anterior	2,80 – 4,60 mm (3,68 mm)	+1,00 mm \approx +1,39 D (Hipermetropia)

2.2.2 - Variações ao longo da idade

O olho deve atingir a emetropia na adolescência e mantê-la com o avançar da idade. O poder refrativo de uma criança é caracterizado por uma distribuição gaussiana em torno da hipermetropia, e ao longo do seu desenvolvimento vai de encontro à emetropia. Quando o processo de emetropização falha, surge uma ametropia ocular.¹

Ao longo dos anos ocorrem alterações nos tecidos oculares, inclusive nos componentes óticos oculares.¹⁸ Tendo em conta os modelos esquemáticos de *Lotmar* para descrever os parâmetros biométricos do olho de uma criança e o modelo de *Gullstrand-Emsley* para o olho de um adulto, verifica-se que ao longo do crescimento ocular: o cristalino vai ficando mais fino e perdendo a sua potência refrativa, a PCA aumenta e a PCV diminui, a córnea, por sua vez, torna-se mais plana.

Atchison et al., em 2008, compararam a biometria de olhos emétopes com idades diferentes, desde os 20 aos 70 anos, verificando diferenças significativas entre os valores dos diferentes componentes oculares (Figura 2).¹⁸

Este estudo demonstrou que o RCA da córnea vai diminuindo com a idade e a sua asfericidade ($Q \approx -0,20$) vai adquirindo um valor mais positivo; as maiores alterações ocorrem no cristalino e no comprimento axial, ambos aumentam o comprimento longitudinal, mas o cristalino perde potência refrativa; a PCA diminui, enquanto que a PCV se mantém constante com o aumento da idade.

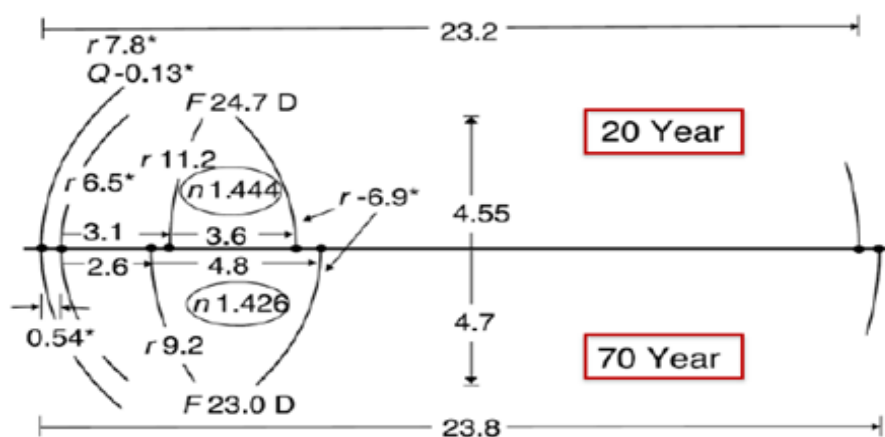


Figura 2 - Alterações nos COO com a idade. (*Atchison DA, Markwell EL, Pope JM, Swann PG. Age-related changes in optical and biometric characteristics of emmetropic eyes. Journal of Vision. 2008;8:1-20*). Média dos valores para 20 anos de idade em cima e para 70 anos em baixo. Distâncias em milímetros. Parâmetros com asterisco não sofrem alterações com a idade.

Os autores deste estudo sugerem ainda, a possibilidade de existir um “rearranjo” entre os diferentes componentes oculares, uma vez que, as alterações referidas anteriormente levariam a um aumento da miopia com o avançar da idade, mas verifica-se o caso contrário, o erro refrativo apresenta uma tendência para o aumento da hipermetropia.

2.3 - Disfunções Visuais

O aparecimento das disfunções visuais está associado a uma falha na coordenação entre os diferentes componentes oculares (ocasionando o aparecimento de ametropias), ou pode estar relacionado com uma descompensação da musculatura intrínseca e extrínseca do olho. Estas disfunções podem traduzir-se das mais diversas formas dependendo da disfunção visual associada.

2.3.1- Erros refrativos

A miopia é uma das anomalias refrativas mais frequentes na idade adulta.² O olho míope apresenta um poder refrativo maior e por este motivo todos os objetos longínquos apresentam-se desfocados. Este excesso de potência total do olho poderá ser atribuído a um excesso de potência dióptrica positiva do cristalino, a um excesso de curvatura da córnea, a um comprimento axial grande, ou a uma combinação dos fatores anteriormente referidos. Assim, os raios luminosos que chegam do infinito convergem para um ponto focal que se encontra à frente da retina. A única forma de os raios luminosos focarem sobre a retina passa por diminuir a distância de visualização ou pela utilização de lentes divergentes.

A hipermetropia é a denominação dada ao erro refrativo que ocasiona a formação da imagem dos objetos visualizados num “ponto virtual” para além da retina. O olho hipermetrope, normalmente, apresenta um CA inferior ao normal ou possui uma alteração na curvatura da córnea e/ou cristalino que proporcionam uma diminuição no poder refrativo total do olho. Geralmente o hipermetrope possui uma boa visão ao longe

devido ao poder acomodativo do cristalino, no entanto para perto não consegue focalizar a imagem ou apresenta um desconforto visual associado ou não à imagem desfocada para perto. Esta anomalia refrativa é corrigida com a utilização de lentes convergentes, que colocam os raios luminosos sobre a retina.

O astigmatismo é uma ametropia ocular causada pela irregularidade das superfícies visuais, que proporciona potências refrativas distintas em diferentes direções. Este desajuste faz com que a luz se refrate em vários planos focais, fora e dentro da retina, gerando uma distorção visual. Esta anomalia pode ser compensada através da utilização de lentes tóricas que permitirão que os raios de luz se concentrem num único plano focal.

A presbiopia é um processo natural do envelhecimento ocular, caracterizado pela perda da capacidade acomodativa do cristalino. Pode ter como origem na diminuição progressiva da elasticidade do músculo ciliar ou pela existência de uma esclerose (endurecimento) no cristalino, que acontece por volta dos 45 anos de idade. Embora o resultado (visão desfocada para objetos próximos) e o modo de refração dos raios luminosos desta anomalia seja idêntica ao da hipermetropia, as causas são bastante distintas.

2.3.2 - Problemas de visão binocular

A visão binocular (VB) é um fenómeno que ocorre quando ambos os olhos são utilizados em conjunto. Assim, é necessário que ambos os olhos recebam uma imagem nítida e que ambos se movimentem de uma forma coordenada.

2.3.2.1 - Forias e Tropias

Todos os músculos extraoculares devem ter um equilíbrio de forças perfeito para que os olhos estejam alinhados e focalizados num só ponto. Quando os músculos extraoculares não trabalham em conjunto originam um desvio ocular.

Os desvios oculares podem ser de dois tipos: *tropias ou estrabismo*, quando existe um desvio ocular manifesto mesmo sem o rompimento da VB; e *forias ou heretoforias*, quando o desvio ocular se manifesta devido ao rompimento da VB.

Uma foria, que até ao momento era compensada perfeitamente pela capacidade de convergência do sistema (RFN ou RFP), pode manifestar-se como um estrabismo se o esforço de compensação do sistema deixar de ser suficiente.

Uma boa parte dos problemas de aprendizagem, dores de cabeça, enjoos, vertigens anormais e dificuldade de atenção na leitura, estão associados a problemas de visão binocular.

2.3.3 - Problemas acomodativos

Ao passar da visão de longe para a visão próxima, a resposta acomodativa não é igual para todos os indivíduos, diferencia-se dois tipos de resposta: o atraso acomodativo ou o adianto acomodativo. O atraso acomodativo, em jovens e adultos saudáveis até aos 45 anos de idade, é considerado normal para valores entre as 0,00 D e as +0,50 D, valores maiores ou valores negativos (adiantos acomodativos), em idade adulta, podem indicar a presença de disfunções acomodativas.^{19,20}

Os problemas de acomodação não podem ser vistos como um problema único, usualmente, os problemas de acomodação estão associados a problemas de VB e vice-versa, normalmente, ocorrem após a utilização prolongada da visão próxima.

Os problemas acomodativos diferenciam-se em quatro aspetos: *Excesso ou espasmo acomodativo* – quando a acomodação é usada em excesso quer na presença ou na ausência de um estímulo, respetivamente; *Fadiga acomodativa* – quando existe um défice de acomodação, devido à não sustentação do valor acomodativo durante uma tarefa prolongada em visão próxima; *Insuficiência acomodativa* – devido ao próprio valor de amplitude de acomodação ser inferior ao esperado para a idade; *Inflexibilidade acomodativa* – quando existe uma dificuldade em manter os objetos focados quando a visão alterna entre o longe e o perto.

2.4 - Aberrometria

Todo este subcapítulo tem por base o livro “*Aberraciones oculares – aspectos clínicos*”.²¹

A aberrometria mede as aberrações óticas do olho como um todo, através da utilização de um feixe de laser de pequeno diâmetro focado na retina. Este pequeno foco de luz que incide sobre retina atua como uma fonte emissora de feixes de luzes, que são afetados por todos os elementos óticos do sistema ocular. Estes feixes de luz circulares possuem a mesma fase e o mesmo comprimento de onda, e são frequentemente, denominados por frentes de onda (wavefront).

A aberrometria caracteriza a ótica do olho numa ordem inferior às habituais 0,25 D praticadas pela refração tradicional que até então apenas detetava miopias, hipermetropias ou astigmatismos, este tipo de aberrações designam-se por aberrações de baixa ordem. Esta técnica permite não só a visualização das aberrações de baixa ordem, como também detetam as aberrações de alta ordem que interferem com a qualidade da imagem visualizada.

A aberrometria é indicada para os casos em que o uso de óculos ou de lentes de contacto não proporcionam uma boa acuidade visual e no pré-operatório de cirurgias refrativas, principalmente, em pacientes que apresentam diversos tipos de sintomas relacionados com a qualidade da visão, como halos ao redor de luzes, “glare” ou ofuscamento.

O diâmetro pupilar desempenha um papel preponderante na existência de aberrações no sistema ótico, assim quando se está perante um diâmetro pupilar grande existirá uma maior incidência de aberrações sobre a imagem visualizada.

As aberrações óticas podem ser definidas como uma alteração no sistema, que impede que a imagem de um ponto seja a reprodução exata desse ponto, o que limita a visualização dos detalhes mais precisos. Estas podem ser agrupadas em aberrações cromáticas e monocromáticas.

2.4.1 - Aberrações cromáticas

Qualquer sistema ótico é afetado pelas aberrações cromáticas que são consequência da natureza da luz visível, composta por diferentes comprimentos de onda.

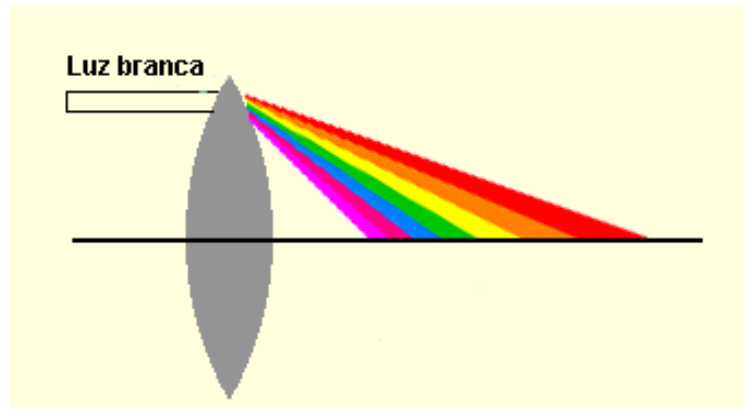


Figura 3 - Efeitos da aberração cromática utilizando uma luz branca e uma lente convergente.

A luz ao incidir na lente (por exemplo, córnea ou cristalino) pode mudar a sua direção dependendo da curvatura e dos índices de refração que delimitam as superfícies da lente. Esse desvio depende ainda, do comprimento de onda da luz incidente, isto porque o índice de refração é função da frequência ou cor (o índice de refração diminui com o aumento do comprimento de onda). Uma vez que, o poder refrativo do olho depende do índice de refração, os diferentes comprimentos de onda focam-se em diferentes pontos na retina (Figura 3). Esta diferença entre os 400 e 700 nm pode-se traduzir numa variação de até 2,10 D.²¹

2.4.2 - Aberrações monocromáticas

As lentes, devido às curvaturas de superfície e ao ângulo de incidência dos raios luminosos, fazem com que os raios centrais tenham uma trajetória diferente em relação aos periféricos, originando vários pontos focais que geram uma imagem com distorções. Este tipo de fenómeno denomina-se por aberração geométrica ou monocromática. No olho este tipo de aberrações encontram-se atenuadas devido à forma asférica da córnea e

do cristalino.

As aberrações monocromáticas podem ser classificadas em aberrações de baixa ordem (exemplo: desfoque (miopia e hipermetropia) e astigmatismo), que afetam de uma forma mais importante a qualidade da imagem, ou as aberrações de alta ordem (exemplo: aberração esférica, coma e trefoil).

A aberração esférica é um fenómeno em que os raios de luz incidentes próximos do bordo da lente são mais refratados do que os raios que incidem próximos do centro ótico, assim os raios vão incidir à frente ou atrás do ponto focal na retina, formando um halo concêntrico que deteriora a qualidade da imagem.

O astigmatismo é uma aberração que depende da inclinação dos raios incidentes nas lentes. Quanto maior for a inclinação maior é o astigmatismo. Esta aberração não depende da distância do ponto de incidência ao centro ótico da lente, nem depende do comprimento de onda da radiação.

O Coma e o Trefoil são consideradas aberrações monocromáticas de terceira ordem. A aberração coma faz com que um ponto de luz tenha um aspeto de um cometa. Assim, quando a imagem de um objeto é obtida com uma lente com coma, os raios que passam pela periferia da lente vão formar uma imagem mais larga que os raios que passam pela zona central da lente. Na aberração trefoil o ponto de luz tem a aparência de um trevo.

As aberrações óticas tornam-se mais complexas com o aumento de ordem e diâmetro da pupila. Assim, durante o dia ou em ambientes bem iluminados, as aberrações de alta ordem, como o Coma, têm os seus efeitos atenuados, devido à condição natural do olho que ao adaptar-se à luminosidade, faz com que a pupila apresente aberturas menores.

2.4.2.1 - Polinómios de Zernike

A compreensão de uma frente de onda deformada pode ser simplificada se for visualizada como uma soma de frentes de onda mais elementares, que identificam quais as aberrações presentes.

A forma mais utilizada para esta decomposição foi desenvolvida por *Frederik Zernike* (1888-1966), através de uma série de fórmulas chamadas de Polinómios de Zernike, onde cada termo descreve uma aberração específica, acabando por ser considerado como um padrão na análise das frentes de onda.

Assim, os Polinômios de Zernike (Figura 4) são utilizados para definir as superfícies geométricas, de forma a descrever as aberrações óticas monocromáticas, tanto as de baixa ordem (desfoque e astigmatismo), como as de alta ordem (coma, aberração esférica, entre outros).

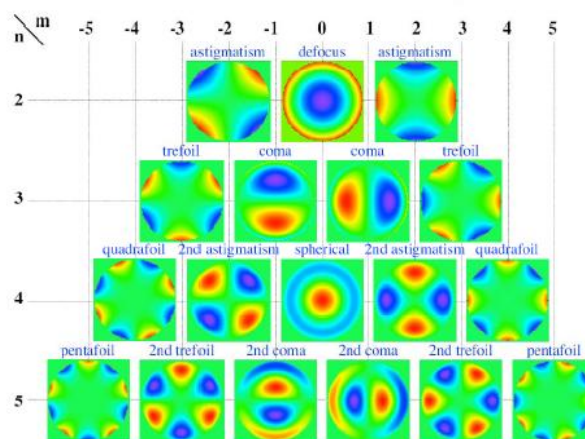


Figura 4 - Representação dos Polinômios de Zernike.

2.5 - Pressão intraocular

Este subcapítulo tem como fundamento bibliográfico, o livro “*Oftalmologia Clínica*”²², frequentemente utilizado na área da oftalmologia e da optometria.

O humor aquoso, produzido pelos processos ciliares, possui a função de nutrição da córnea e do cristalino e é responsável por gerar uma pressão intraocular (PIO).

Os valores da PIO, numa população normal, situam-se entre os 11,00 e os 21,00 mmHg. Olhos com valores de PIO superiores a 21,00 mmHg são considerados suspeitos de desenvolverem glaucoma, no entanto, existem alguns pacientes com glaucoma que apresentam uma PIO inferior aos 21,00 mmHg (glaucoma de tensão normal) e outros com uma PIO superior a 30,00 mmHg (hipertensão ocular) que não apresentam qualquer lesão glaucomatosa.

A PIO varia ao longo do dia, com o ritmo cardíaco, com a pressão arterial e com a respiração, apresentando-se em 80% dos casos mais elevada nas primeiras horas da manhã.

Perante uma PIO elevada (devido principalmente, a um déficit no escoamento do humor aquoso) gera-se uma pressão não só sobre o nervo ótico como também sobre todas as outras estruturas oculares. Seria de esperar, principalmente, um aumento no CA, uma vez que, as forças exercidas sobre o anel de Zinn (a zona de inserção dos músculos extraoculares tornam esta parte do olho mais resistente) não deixam o olho alongar-se verticalmente (Figura 5).

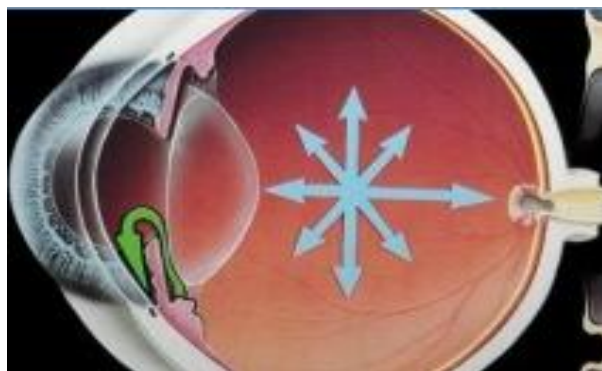


Figura 5 - Pressão exercida sobre as diferentes estruturas oculares.

2.6 - Variação diurna dos parâmetros oculares

Em 1968, iniciam-se estudos^{3,46-49} sobre a existência de uma variação diurna num dos vários COO, nomeadamente a córnea. Nesta época, com o aparecimento do paquímetro e do topógrafo, vários estudos neste âmbito, foram elaborados.

Com o aparecimento e aperfeiçoamento dos mais variados instrumentos óticos, vários autores demonstraram, que além da curvatura e espessura corneal, a profundidade da câmara anterior, a espessura do cristalino, a amplitude de acomodação, a profundidade da câmara vítrea, o comprimento axial e a pressão intraocular, também possuem uma alteração dos seus valores ao longo do dia.

Apenas em 1988, surge o primeiro estudo⁸ que relaciona as variações diurnas dos COO com as alterações do erro refrativo total ao longo do dia. Desde então, várias investigações têm sido desenvolvidas, no sentido de verificar as variações diurnas dos parâmetros oculares acima referidos, mas poucos são aqueles que relacionam as variações encontradas com alguma variação diurna do erro refrativo total do olho.

2.6.1 - Córnea

A variação diurna do raio de curvatura anterior e espessura corneal foram dos primeiros parâmetros oculares a serem avaliados. Desde 1968, vários autores^{3,46-49} descrevem a córnea como sendo mais plana ao acordar, retomando os seus valores normais ao longo do dia.

Em 1982, *Kiely et al.*, encontram os mesmos resultados: a primeira medida do dia possui um valor de espessura maior e uma córnea anterior mais plana, enquanto que a asfericidade corneal mantém-se praticamente constante ao longo do dia. Em relação à espessura corneal, esta apresenta o seu maior valor durante o fecho palpebral noturno e começa a diminuir cerca de 2 horas depois da abertura palpebral, ao longo do dia retoma o seu valor base.³

Read et al. analisaram a topografia corneal encontrando uma variação diurna significativa. Os seus resultados são consistentes com os estudos referidos anteriormente, evidenciando alterações entre o período da manhã e o período da tarde.⁴

Num estudo⁶ mais recente, *Giráldez-Fernández et al.*, verificaram que a córnea apresenta a sua espessura máxima no momento de abertura dos olhos depois do encerramento noturno e diminuí durante o dia em várias localizações analisadas, nomeadamente, a zona central, os meridianos nasal, temporal, superior e inferior e a 1,00 e 2,00 mm da zona central. A variação média da espessura da córnea central observada é de 14,00 μm , com o valor mínimo depois de 8 a 10 horas de abertura do olho. A menor curvatura corneal anterior foi observada no abrir do olho depois do fecho noturno, com uma diferença estatisticamente significativa quando se compara com os valores obtidos ao longo do dia. Depois de um aumento inicial da curvatura anterior, esta permanece praticamente estável ao longo do dia em todas as localizações. A variação média da curvatura central observada foi de 0,07 mm, com o valor mínimo também depois de 2 horas de abertura dos olhos.⁶

Em 2009, *Read and Collins*, verificaram pela primeira vez, a existência de uma variação diurna na superfície posterior da córnea. As maiores alterações sofridas nas superfícies anterior e posterior ocorreram nas primeiras horas do acordar.⁵

A superfície posterior exerce pouca contribuição sobre o poder refrativo corneal, devido à mínima diferença de índices de refração entre a superfície posterior da córnea e o humor aquoso. Apesar deste facto, este estudo refere que a superfície posterior tem

uma ação sobre a aberração esférica e astigmática do olho, e sugerem ainda, que a análise desta superfície é importante na deteção precoce de ectasias pré e pós-cirúrgicas, e particularmente, na deteção do queratocone.

Neste estudo⁵, os autores verificaram que as mudanças que ocorrem ao longo do dia, na superfície anterior e posterior são maiores na zona paracentral (3,50 mm) do que na zona mais periférica (7,00 mm). A curvatura da superfície corneal anterior altera-se de uma forma oposta à superfície posterior, isto é, quando uma fica plana a outra fica mais curva. Assim, a superfície posterior apresenta-se mais curva ao acordar e vai ficando mais plana ao longo do dia.

Os autores concluíram ainda, que o edema corneal apresentado ao acordar promove uma deslocação para trás da superfície posterior e uma ligeira deslocação para a frente da superfície anterior (mais nas regiões periféricas da córnea), diminuindo a PCA. Em relação ao equivalente esférico da córnea (M), verificaram a existência de uma correlação significativa deste valor com a espessura corneal em ambas as superfícies, indicaram ainda, que uma superfície anterior plana está correlacionada com o aumento da espessura central da córnea e que a curvatura da superfície posterior está associada à espessura corneal.⁵

Assim, a maior parte dos estudos analisados concluem que a córnea apresenta a sua máxima espessura e curvatura mínima ao abrir o olho, sendo que as maiores variações registadas situam-se na zona paracentral da córnea.

2.6.1.1 - Correlação entre a variação da espessura e curvatura corneal

Em relação à correlação existente entre a variação da espessura e a variação da curvatura não existe um consenso entre os diversos autores,^{3,5,6} apresentando-se duas teorias: a espessura aumenta e a curvatura aumenta; e a espessura aumenta e a curvatura diminui. Por outro lado, *Rom et al.*, não encontraram uma relação entre as variações de espessura e a topografia corneal.⁵¹

No estudo efetuado por *Kiely et al.*,³ os valores de espessura e curvatura corneal apresentam uma correlação positiva, isto é, quando a espessura da córnea central aumenta, o raio de curvatura horizontal da córnea também aumenta. No entanto, em estudos^{5,6} mais recentes encontraram-se uma correlação negativa entre estas duas características corneais, isto é, quando a espessura diminui, a curvatura aumenta. Esta relação pode ser atribuída a uma maior diminuição da espessura paracentral da córnea

quando comparada com o centro da mesma, concluindo-se que uma diminuição de espessura pode levar a um encurvamento corneal.

2.6.1.2 - Motivos para o aumento da espessura corneal

Mishima et al., num estudo realizado em 1968, explicaram que o aumento da espessura corneal se deve a um aumento da evaporação lacrimal durante a abertura ocular e a um reduzido fluxo osmótico de saída de água da córnea durante o fecho palpebral noturno.⁵⁰

O estudo⁶ de *Giráldez-Fernández et al.* parte do pressuposto que o aumento da espessura corneal é atribuído à diminuição do transporte de oxigénio durante o fecho palpebral noturno, conduzindo a um metabolismo anaeróbico que leva a um aumento do ácido láctico. O aumento de ácido láctico produz um aumento da pressão osmótica que favorece a difusão da água desde o humor aquoso até ao estroma (camada intermédia que compõe a córnea), resultando num aumento da espessura total da córnea.

Outras investigações^{4,7} desenvolvidas sugerem que a variabilidade da espessura da córnea pode também dever-se à qualidade da película lacrimal, às variações diurnas de produção da lágrima, à frequência de pestanejo e à pressão intraocular.

2.6.1.3 - Análise das aberrações corneais

Read et al., analisaram as aberrações corneais e verificaram que as aberrações de alta ordem ocorrem numa menor magnitude que as de baixa ordem. A terceira ordem dos polinómios de Zernike (coma e trefoil) é aquela que mais contribui para um aumento das aberrações de alta ordem.⁴

Em relação ao equivalente esférico corneal (M), este exhibe um leve aumento, (aproximadamente 0,10 D), no entanto, o J0 corneal (astigmatismo 90°/180°) e J45 corneal (astigmatismo 45°/135°) diminuem ao longo do dia. Um exame mais profundo sobre os dados revela que a variação diurna da córnea encontrada pode afetar significativamente a medição clínica da refração subjetiva.

Existem outras duas aberrações de alta ordem que exibem alterações significativas ao longo do dia: o trefoil que aumenta (fica mais positivo) e o coma que diminui (fica mais negativo). A combinação, destas duas aberrações, representa um aumento na distorção da frente de onda ao longo do dia e retoma os seus valores base na

manhã seguinte.

Neste estudo⁴, os autores atribuem o aparecimento destas distorções à pressão das pálpebras exercida sobre a córnea anterior e estabelecem uma relação entre o impacto das mudanças topográficas apresentadas e o tamanho natural da pupila: quanto maior a pupila mais distorções apresentará o mapa topográfico da córnea.

2.6.1.4 - Córnea versus trabalho em visão próxima

Os trabalhos de perto exigem uma acomodação prolongada e micro-movimentos oculares. A força das pálpebras durante a leitura pode provocar aberrações e alterações na topografia corneal.^{15,52} Ler ou trabalhar ao computador têm diferentes efeitos nas aberrações corneais.¹⁶

Read et al. afirmam existir uma correlação entre a quantidade de trabalho realizado em visão próxima e o grau de mudança de curvatura da córnea e atribuem-na a possíveis fatores como a influência de hidratação corneal, a estabilidade da lágrima, a frequência do pestanejo, a abertura palpebral vertical e ao tempo percorrido entre o momento de trabalho em perto e o tempo de medição.⁴

Buehren et al. revelam que o trabalho de perto ou a pressão das pálpebras podem ter um papel relevante nos câmbios diurnos dos valores da curvatura corneal. Uma leitura de 60 minutos causa uma distorção na região superior da córnea, que está relacionada com a posição e ângulo das pálpebras durante a leitura. O aumento das aberrações corneais, principalmente no coma vertical e trefoil, podem estar relacionadas com o desenvolvimento do erro refrativo, acrescentando ainda, que a posição das pálpebras durante a leitura induz um astigmatismo corneal.¹⁵

Collins et al. encontraram também variações na topografia corneal quando colocaram sujeitos a ler, ao computador e ao microscópio, durante 60 minutos. Todas as tarefas analisadas possuem diferentes efeitos sobre as aberrações corneais, sendo que as maiores alterações ocorrem durante a leitura e o microscópio do que durante o trabalho ao computador.¹⁶

Ambos os estudos referidos anteriormente, relacionam o facto das mudanças nas aberrações corneais durante a leitura terem um alto potencial em afetarem a qualidade da imagem retiniana. Em estudos^{2,16} sobre o aparecimento ou evolução da miopia, a falta de qualidade na imagem retiniana é considerada um fator de risco para o desenvolvimento da miopia. Posto isto, o facto da posição palpebral afetar as aberrações

corneais durante a leitura leva à hipótese de que se uma pessoa possuir uma fenda palpebral maior ou mais pequena, estaria mais suscetível a um aumento da miopia.¹⁶

2.6.1.5 - Córnea versus PIO

Frampton et al. avaliaram a variação da PIO num período de 24 horas e verificaram que a PIO aumenta durante a noite não só pela posição dorsal de dormida como também quando dormem na vertical, concluindo que os olhos fechados contribuem para um aumento da PIO numa escala mais reduzida.⁹

O maior valor da PIO é encontrado na primeira medição da manhã e 65% dos picos ocorrem antes do meio-dia, e vai diminuindo ao longo do dia. O intervalo médio de flutuação da PIO pode ir dos 3,00 aos 6,00 mmHg para os indivíduos normais, e pode chegar aos 10,00 mmHg em pacientes com glaucoma ou hipertensão ocular.¹⁰

Vários autores^{23,24} relacionam a variação da espessura corneal com a variação da pressão intraocular. Em 1997, *Wolfs et al.*, evidenciaram uma relação positiva entre a pressão intraocular e a espessura central da córnea, isto é, um aumento de 0,19 mmHg na pressão intraocular por cada aumento de 10,00 µm na espessura central da córnea. Pacientes com hipertensão ocular apresentam em média uma espessura corneal mais grossa em comparação com indivíduos de controlo, enquanto que, os pacientes com glaucoma de ângulo aberto apresentam em média uma córnea mais fina.²⁴ Em 2002, *Eysteinnsson et al.*, verificaram uma relação de dependência entre estes dois parâmetros oculares: quanto maior a espessura corneal, maior o valor médio da PIO.²⁵

Kida et al., mais recentemente, relacionaram as propriedades biomecânicas da córnea com a pressão intraocular, num período de 24 horas. Nesse estudo²³ a espessura corneal apresenta o seu maior valor durante o período noturno. A PIO, por sua vez, foi maior de manhã, decrescendo progressivamente ao longo do dia, e aumentando depois no período noturno (onde se encontram os seus picos). Os resultados indicaram ainda, que os ritmos de espessura corneal e da PIO possuem fases diferentes. Os autores concluíram assim, não existir evidências no padrão de mudanças da PIO associadas ao padrão biomecânico da córnea. Embora ambos apresentem os seus valores mais elevados durante o período noturno, o aumento noturno da PIO não pode ser explicado pelo aumento noturno da espessura corneal. Não foi detetada nenhuma mudança significativa nas 24 horas da viscoelasticidade da córnea.

No mesmo ano, *Laiquzzaman et al.*, estudaram a variação diurna da histerese corneal, da espessura corneal e da PIO. Verificaram que a diferença entre os valores da histerese e de espessura corneal em qualquer momento da medição não foram estatisticamente significativos. A análise de regressão mostrou não existir uma relação entre a PIO e a histeresia corneal.²⁶ Em 2008, *González-Meijome JM et al.*, encontraram as mesmas conclusões que o estudo anteriormente referido, no que se refere à variação diurna da PIO e a histerese corneal. Observaram ainda, que as mudanças médias destes parâmetros ao longo do tempo estão correlacionadas.⁴⁵

2.6.2 - Profundidade da Câmara anterior

A câmara anterior é outro componente ocular que apresenta uma variação diurna na sua profundidade axial central e periférica e no seu volume. *Larsson et Brubaker* avaliaram as variações diurnas da PCA em coelhos e verificaram uma flutuação no volume do humor aquoso em diferentes momentos do dia. A variação encontrada foi de 4% a mais à meia-noite do que ao meio-dia. No entanto, a diferença encontrada entre a noite e o dia é muito pequena para possuir um efeito considerável sobre a medida dinâmica do aquoso.²⁷ Em relação ao olho humano, *Mapstone et Clark*, observaram que a PCA e o seu volume são significativamente mais baixas à noite do que pela manhã, com especial ênfase na periferia da câmara anterior (profundidade axial diminui 2,1%; profundidade periférica diminui 21,1%; e volume da câmara anterior diminui 5,7%).²⁸

As alterações ocorridas no cristalino, durante o processo de acomodação, contribuem ainda para possíveis alterações na PCA. Assim, quando se olha para perto, o cristalino aumenta o seu poder dióptrico e a sua espessura central, ocasionando uma diminuição PCA provocada pelo deslocamento do cristalino para a frente. Na situação contrária, quando se olha para longe, o cristalino diminui a sua espessura central aumentando a PCA.^{13,14}

2.6.3 - Comprimento Axial

Em olhos humanos, verificou-se que o comprimento axial varia ao longo do dia, com flutuações de 15,00 a 40,00 μm , num período médio de aproximadamente 21 horas. Normalmente, o comprimento axial atinge o seu máximo valor no final da manhã, por volta do meio-dia.¹¹

2.6.3.1 - Comprimento axial versus PIO

Nos estudos até agora divulgados, não existe uma opinião unânime sobre a correlação do comprimento axial e da PIO. Esta contrariedade de opiniões podem dever-se à metodologia utilizada, uma vez que existe estudos em que os instrumentos utilizados têm em conta as propriedades biomecânicas da córnea e outros não. Este facto torna-se importante devido a estudos prévios provarem que a espessura da córnea exerce uma influência sobre a medida da PIO.¹²

Alguns autores²⁹ relatam que as oscilações diurnas no comprimento axial (extensão ou contração) não refletem as alterações da PIO, outros¹² encontram uma associação significativa entre a PIO e a mudança do comprimento axial, estabelecendo inclusive, uma relação entre ambas: por cada mudança de 5,90 μm no comprimento axial corresponde uma mudança de 1,00 mmHg na PIO. Embora as associações encontradas sejam consistentes, não provam que as mudanças na PIO causam mudanças no comprimento axial.

2.6.3.2 - Comprimento axial versus coróide

Variações diurnas do comprimento axial, câmara vítrea e espessura da coróide têm sido identificadas em galinhas. Estas flutuações podem estar relacionadas com mecanismos de controlo de crescimento do olho. Um neurotransmissor, implicado na miopia e na emetropização, a dopamina, sofre alterações diurnas na retina (libertação e armazenamento). Fisiologicamente, as flutuações de dopamina na retina modulam os mecanismos envolvidos na adaptação da retina ao escuro ou à claridade. Durante a exposição à luz existe uma diminuição da concentração da dopamina, que proporciona uma remodelação da esclera e um alongamento axial, induzindo uma miopia axial.^{11,30,31}

Estudos^{30,32} em galinhas demonstram ainda, que o comprimento axial é maior no período da tarde, quando a coroide se apresenta mais fina. Este facto permitiu concluir que esses ritmos são, aproximadamente, antifase um do outro. A coroide pode aumentar a sua espessura ao longo do dia de 16,00 μm até 24,50 μm . Estudos³³ em outros animais comprovam as mesmas conclusões.

No ser humano é difícil analisar a variação da espessura e deformação da coroide ao longo do dia, devido aos feixes de luzes existentes nos instrumentos óticos, não alcançarem uma intensidade suficiente de forma a visualizar as estruturas mais longínquas, nomeadamente, a coroide e esclera. Outra das causas será as diferenças existentes entre as características anatómicas do olho humano e a dos animais (ex: dimensões oculares, espessura e pigmentação da coroide e algumas propriedades da membrana de Bruch).³⁴

2.6.3.3 - Comprimento axial versus acomodação

Vários parâmetros oculares, tais como, a PCA, a espessura do cristalino (referidas anteriormente), a PCV e o CA exibem uma alteração significativa durante o processo acomodativo. À medida que aumenta o estímulo acomodativo ocorre um aumento no CA.¹⁴

Através do estudo¹⁷ realizado por *Drexler et al.* em 1998, verificou-se que durante a acomodação a tensão exercida pelas fibras da Zónula de Zinn sobre a coroide produz um aumento do comprimento axial.

Em relação às variações do valor do CA entre diferentes populações (emetropes, míopes e hipermetropes), as opiniões diferem, *Read & al.*, revelam não existir diferenças entre míopes e emetropes em termos da variação do CA,¹⁴ enquanto que *Kaluzny* defende existir diferenças significativas entre os 3 grupos populacionais, que estão relacionadas com o movimento do cristalino.¹³ Nos emetropes apenas o pólo anterior do cristalino avançou anteriormente durante a acomodação, já nos míopes o pólo anterior do cristalino avançou anteriormente e o pólo posterior recuou, nos hipermetropes ambos os pólos se movimentam para a frente. O movimento para frente do pólo posterior está correlacionado com um comprimento axial baixo, e também com um erro de refrativo maior e um pequeno aumento da espessura do cristalino.

Capítulo 3 - Metodologia

Neste capítulo apresenta-se em primeiro lugar a obtenção e caracterização da amostra estudada, em segundo lugar a metodologia utilizada (materiais e métodos) e por último uma breve descrição da análise estatística utilizada na interpretação dos resultados. No primeiro subcapítulo aborda-se também os critérios de exclusão, as limitações na procura de voluntários e as questões de ética existentes no estudo. Os testes optométricos escolhidos para a realização deste trabalho têm com principais objetivos a precisão e a rapidez de execução, uma vez que são várias as variáveis em estudo.

As medições foram efetuadas em três alturas diferentes do dia: manhã – desde as 9 horas até às 12 horas, à tarde – desde as 13 horas até às 16 horas e ao anoitecer – desde as 17 horas às 20 horas. O período de recolha dos dados recorreu desde o mês de fevereiro até ao final do mês de abril.

3.1 - Amostra

A amostra deste estudo é constituída por 21 estudantes que frequentam a Licenciatura em Optometria e Ciências da Visão e o Mestrado em Optometria Avançada na Universidade do Minho.

Neste estudo participaram 14 mulheres e 7 homens, com idades compreendidas entre os 18 e os 32 anos, sendo a idade média da amostra de $23,8 \pm 5,9$ anos (Valor médio \pm Desvio padrão), como se pode comprovar através das figuras 6 e 7.

Todos os participantes que apresentavam um erro refrativo encontravam-se corrigidos com óculos, sendo que a última atualização foi efetuada à menos de 1 ano.

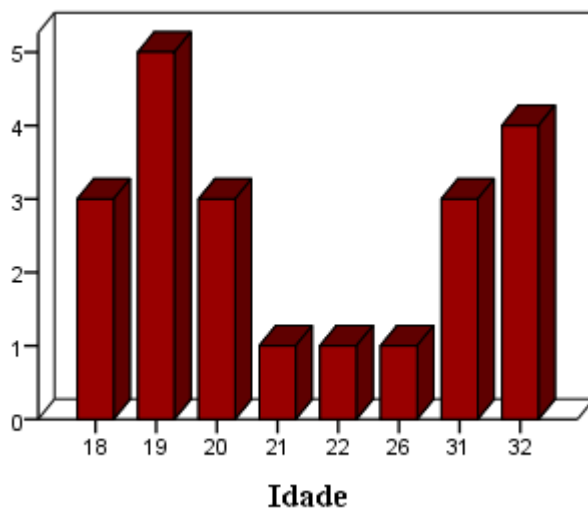


Figura 6 - Frequência absoluta da idade na amostra.

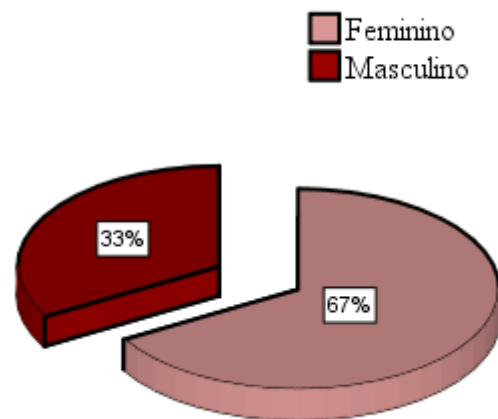


Figura7 - Distribuição de géneros na amostra.

Em relação às diferentes ametropias encontradas, os participantes foram divididos em míopes, quando o valor da esfera equivalente (M) do erro refrativo obtido através do autorrefratômetro de campo aberto foi inferior a -0,50 D, em emetropes quando apresentavam valores superiores a -0,50 D e inferiores a +0,50 D, e em hipermetropes quando os valores foram superiores a +0,50 D. Assim, amostra deste estudo é considerada maioritariamente emetrope (Figura 8). Esta divisão é referente à primeira medida realizada, ou seja, à medida correspondente ao período da manhã.

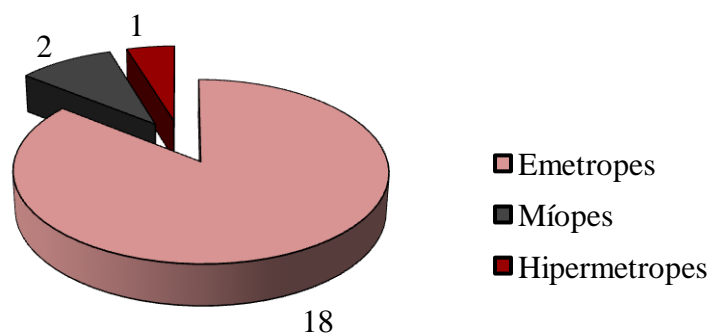


Figura 8 - Frequência absoluta dos erros refrativos.

O atraso acomodativo da amostra situa-se entre as 0,08 D e as 2,25 D, a sua distribuição na amostra pode ser visualizada na figura 9.

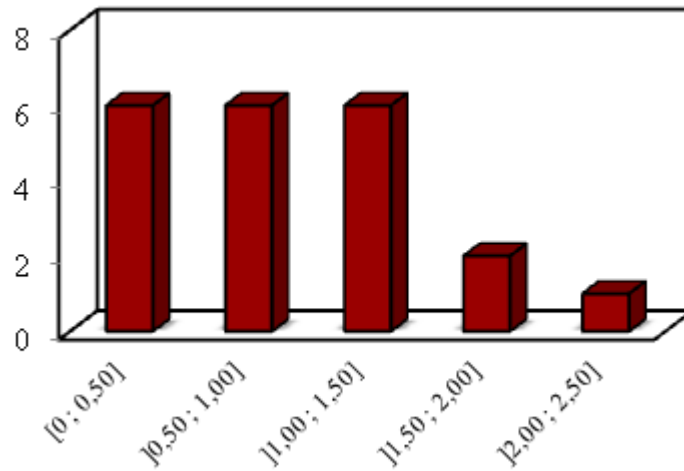


Figura 9 - Frequência absoluta do atraso acomodativo.

A nível do estado fórico da amostra, predomina a endoforia para a visão ao longe, e a exoforia para a visão de perto, os seus valores variam desde a 1,00 D até às 4,00 D ou 6,00 D, respetivamente. A endoforia para a visão de perto não é maior que 1,00 D, em relação à exoforia para a visão de longe não ultrapassa as 3,00 D. A distribuição das frequências relativas do estado fórico na amostra pode ser visualizado na figura 10.

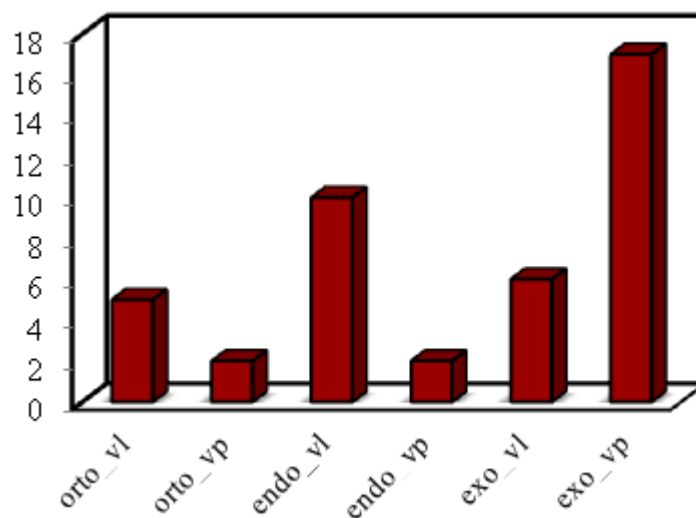


Figura 10 - Frequência absoluta do estado fórico.

3.1.1 - Cálculo da amostra necessária

O cálculo do tamanho da amostra necessária foi efetuado usando um programa informático.⁴⁴

Considerou-se uma diferença de 0,50 D entre os valores do erro refrativo, para existir uma variação clinicamente significativa entre os 3 períodos do dia.

Com os dados da média e do desvio padrão dos primeiros 20 indivíduos analisados ($-0,02 \pm 0,36$ D), calculou-se a amostra necessária. Com estes valores e considerando uma variação de 0,50 D era necessária uma amostra final de cerca de 8 indivíduos.

O facto de este estudo possuir uma amostra composta 21 participantes, foi considerado um número razoável para a realização deste trabalho, na medida que os estudos até agora efetuados sobre as variações diurnas dos diferentes COO contemplam no máximo 20 participantes.

3.1.2 - Critérios de inclusão e exclusão

Todos os participantes deveriam ter idades compreendidas entre os 18 e 35 anos de idade. Os indivíduos não poderiam apresentar patologias oculares, nem serem usuários de lentes de contacto.

Neste estudo foram excluídos míopes superiores a -3,00 D e hipermetropes superiores a +3,00 D para obter uma amostra mais homogénea.

Na amostra obtida, excluiu-se um participante, porque não tinha uma recolha de dados completa.

3.1.3 - Questões de ética

Antes da realização das medidas e de acordo com a declaração de Helsínquia sobre a experimentação em humanos, foi dada uma explicação detalhada aos participantes sobre os objetivos e finalidades deste estudo, assim como o modo de funcionamento do mesmo. Foi ainda evidenciado, que nenhum dos procedimentos de medida efetuados colocariam em risco a saúde ocular dos participantes, e que estes

poderiam abandonar o estudo a qualquer momento.

Devido à proteção de dados na sua divulgação, no tratamento de dados foi ocultado o nome de cada participante através da numeração de sujeitos (Ex: Sujeito 1, Sujeito 2). Todos os participantes assinaram um consentimento informado (anexo 1) em como autorizavam a realização das medidas e a divulgação dos resultados encontrados.

3.2 - Exames

Uma ficha clínica (anexo 2) foi elaborada para registrar todas as informações pessoais dos participantes e anotar o resultado de cada exame efetuado. Os resultados do autorrefratômetro eram impressos e afixados à ficha clínica. Esta ficha estava dividida em três partes separadas, uma para cada fase do dia: manhã, tarde e anoitecer.

O trabalho iniciou-se com a realização de um questionário (anexo 3) que visava conhecer o estado de saúde geral e ocular do sujeito, assim como os seus antecedentes oculares. Em seguida efetuaram-se alguns exames que permitiram verificar se os indivíduos cumpriam com os requisitos para participarem neste estudo.

O erro refrativo foi obtido através de um método que controla a acomodação, o autorrefratômetro de campo aberto. De seguida efetuaram-se a biometria, a tonometria, a aberrometria. As medidas foram realizadas de uma forma aleatória.

3.2.1 - Questionário

O questionário identifica o participante através do seu nome e data de nascimento. Os participantes foram inquiridos se possuíam alguma doença geral (hipertensão, diabetes ou colesterol) ou ocular (conjuntivites, secura ocular, blefarites ou trauma) como também se possuíam hábitos tabagistas, se utilizaram o computador e qual a rotina efetuada durante o dia das medições.

Durante o dia de recolha dos dados, os alunos encontravam-se em aulas ou a estudar para exames e não utilizaram o computador como material de apoio.

Dos 21 participantes do estudo, 6 fumavam e 5 mulheres tomavam a pílula, nenhuma outra medicação foi apresentada durante o questionário.

3.2.2 - Exames de seleção

A medida do estado fórico dos participantes foi efetuado através da utilização de um cilindro de Maddox e de uma barra de primas. Este método é considerado um método subjetivo que avalia a presença, direção e magnitude do desvio ocular, não diferenciando o tipo de desvio apresentado: foria ou tropia. É um método que apesar de não controlar a acomodação, consegue minimizar os erros associados à utilização de diferentes instrumentos de medidas do estado fórico, uma vez que se pode utilizar quer para a visão de longe quer para a visão de perto.

Primariamente, em cada sujeito foi colocado na armação de provas a graduação dos seus óculos (caso o sujeito utilizasse) e o cilindro de Maddox branco apenas no olho direito, numa posição horizontal, com o objetivo de medir as forias horizontais (a linha ficará numa posição vertical).

O cilindro de Maddox transforma um ponto luminoso, projetado ao longe ou ao perto, numa linha. Caso o participante possuisse algum desvio, a linha visualizada através do cilindro de Maddox, não coincidirá com o ponto luminoso; se a linha intercepar o ponto, o paciente não terá qualquer desvio ocular, apresentando uma ortoforia. Sempre que a linha não coincide com o ponto é graduado a quantidade do desvio com o auxílio de uma barra de prisma. Se a linha se apresentar do lado direito do ponto, o paciente apresentará uma endoforia, no caso contrário, se a linha se apresentar à esquerda do ponto, estamos perante uma exoforia. O grau da enforia ou exoforia encontrada é dado pela quantidade de prismas colocados no olho esquerdo do paciente para que o ponto luminoso coincida com a linha vertical.

Para longe o estímulo luminoso era projetado a 5 metros e para perto a 50 centímetros, através da utilização de uma lanterna.

3.2.3 - Autorrefractómetro

A determinação do erro refrativo foi realizada de uma forma automática, utilizando o autorrefratómetro de campo aberto WAM-5500 (Grand Seiko, Hiroxima, Japão, Figura 11). A utilização deste instrumento diminuiu o tempo de recolha de dados e permite controlar parte da acomodação (instrumental e proximal).

O instrumento realiza cinco medidas consecutivas sobre o valor da refração do paciente, apresentando também a sua média. Os valores foram impressos e anexados à ficha clínica. A média dos valores da refração foi a medida considerada como o erro refrativo do participante (ex: +0,39 -0,47 x 40, sendo que o primeiro valor representa o valor da esfera, o segundo representa o valor do astigmatismo e em último representa o eixo do astigmatismo).

As medidas realizadas para a visão de longe e perto foram efetuadas quando o participante olhava para um objeto a 3 metros e a 40 centímetros, respetivamente.



Figura 11 - Autorrefractómetro de campo aberto.

3.2.4 - Biómetro

O biómetro utilizado para a realização deste trabalho foi o *IOLmaster* (Zeiss, Jena, Alemanha, Figura 12). É instrumento de não contacto que mede a distância do vértice da córnea ao epitélio pigmentar da retina, possui uma precisão de $\pm 0,02$ mm ou mais.

Os dados recolhidos deste instrumento, para cada olho, foram a profundidade da câmara anterior e o comprimento axial.

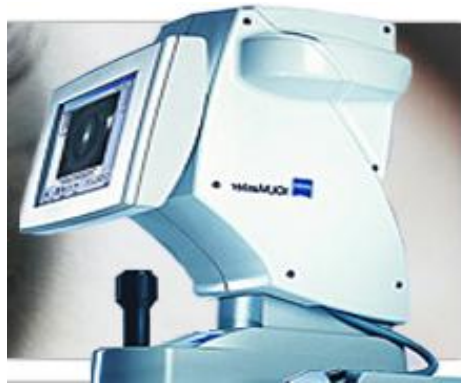


Figura 12 - IOLmaster.

3.2.5 - Tonómetro

O tonómetro utilizado neste estudo foi o *ORA* (*Ocular Response Analyzer* – Reichert Inc, Depew, NY, EUA, Figura 13), este tonómetro envia um sopro de ar que depois de processado fornece informações sobre a PIO e as propriedades biomecânicas da córnea.



Figura 13 - Ocular Response Analyzer.

Os principais parâmetros biomecânicos medidos pelo ORA são a histerese corneal (CH), definida como um resultado do amortecimento viscoelástico do tecido corneal em resposta à deformação, e o fator de resistência da córnea (CRF), entendido como a maior parte da elasticidade da córnea. Ambos os fatores estão fortemente relacionados entre si, e por isso mesmo, não se conseguem isolar com esta técnica. O ORA utiliza o valor do CH e do CRF para calcular uma PIO compensada (PIOcc), que é supostamente livre da influência da espessura corneal e das propriedades biomecânicas da córnea.

A cada participante foram efetuadas 3 medidas, para cada período do dia e para cada olho. Os valores médios da PIO, da CRF e da CH foram utilizados para análise estatística dos resultados.

3.2.6 - Aberrómetro

As aberrações de baixa e alta ordem foram analisadas através do aberrómetro IRX3™ (Imagines Eyes, Orsay, France, Figura 14). Este instrumento apresenta uma combinação de amplo alcance, com uma tecnologia de frente de onda de *Shack-Hartman* e um *software* de análise ocular patenteado.



Figura 14 - Aberrómetro IRX3: Imagines Eyes.

As medidas eram efetuadas sempre com uma iluminação bastante diminuída (perto da penumbra) para se obter o máximo diâmetro pupilar. Realizaram-se três medidas para cada olho, utilizando-se a média das 3 medidas para a análise dos

resultados. Todas as aberrações de baixa ordem (desfoque e astigmatismo) e as principais aberrações de alta ordem encontradas ($z(3, -1)$ – coma vertical; $z(3, 1)$ – coma horizontal; $z(4, 0)$ – aberração esférica de 4ª ordem; *Soma-Esférica* (soma de todas as ordens de aberração esférica); *Soma-Coma* (soma de todas as ordens de coma); Astigmatismo de 2ª ordem; Aberrações de 3ª, 4ª, 5ª e 6ª ordem foram analisadas.

3.3 - Análise estatística

A análise estatística deste trabalho tem por base o programa estatístico SPSS versão 18.0, normalmente aplicado na área das ciências. Todo este subcapítulo tem como suporte bibliográfico 4 livros³⁵⁻³⁸ que relacionam os resultados da análise estatística com as respectivas interpretações.

A inferência estatística permite através de uma amostra aleatória tirar conclusões gerais sobre a população onde esses elementos provieram. Este tipo de estatística divide-se em dois ramos: estimação e testes de hipóteses.

A técnica da estimação obtém estimativas pontuais ou estimativas intervalares. A estimação pontual consiste em determinar uma estatística que estime o valor do parâmetro desconhecido. Como o valor do parâmetro é único, a estimativa pontual pode ou não coincidir com este valor. Devido a não possuir um grau de certeza associada utiliza-se com mais frequência a estimação intervalar. Os intervalos de confiança contêm o verdadeiro valor do parâmetro (desconhecido) com uma certa confiança, isto é, com uma certa probabilidade que é afixada à partida. Os níveis de confiança são usualmente expressos em percentagem: 90%, 95% ou 99%, e consequentemente, as probabilidades de errar são, respetivamente, de 0,10, 0,05 e 0,01.

Os testes de hipóteses verificam se as hipóteses sobre determinado parâmetro são ou não rejeitadas. Existem dois tipos de hipóteses: a hipótese nula (H_0), que pressupõe a ausência de diferenças num determinado parâmetro a hipótese alternativa (H_a), que pressupõe a rejeição de H_0 .

O objetivo do procedimento estatístico é aferir se se pode aceitar ou rejeitar a hipótese nula.

Ao efetuar um teste de hipóteses pode-se cometer um dos dois tipos de erros: o erro de tipo I, que consiste em rejeitar a hipótese nula quando esta é, de facto, verdadeira; e o erro de tipo II, que consiste em não rejeitar a hipótese nula quando a hipótese alternativa é verdadeira.

O erro de tipo I é considerado um erro mais grave que o erro do tipo II, por este facto, é usual fixar-se um valor máximo para a probabilidade do erro de tipo I. Este valor máximo denomina-se por nível de significância. Os níveis de significância normalmente utilizados são os 0,05 e 0,01.

Uma alternativa a fixar o nível de significância do teste consiste em calcular o valor de *p-value* (probabilidade de significância do resultado – *p*). O *p-value* corresponde ao menor nível de significância em que a H_0 , admitida como verdadeira, pode ser rejeitada. Se o $p \leq 0,05$, o resultado obtido é considerado significativo ao nível de 5% e há evidência para se rejeitar H_0 . Se o $p \leq 0,01$, o resultado obtido é considerado significativo ao nível de 1% e há forte evidência para se rejeitar H_0 . Se o $p > 0,05$, o resultado obtido não é considerado significativo e não há evidência para se rejeitar H_0 .

3.3.1 - Variáveis

As variáveis analisadas ao longo deste trabalho podem ser divididas em variáveis dependentes ou independentes e em variáveis qualitativas ou quantitativas.

As variáveis qualitativas são variáveis cujas escalas de medida apenas indica a sua categoria (por exemplo: sexo: masculino ou feminino; período do dia: manhã, tarde e anoitecer). As variáveis quantitativas são variáveis cuja escala de medida permite a ordenação e quantificação de diferenças entre os valores observados (por exemplo: erro refrativo, PCA, CA, atraso acomodativo, CH, CRF, PIOg, PIOcc e os coeficientes de Zernike que descrevem as aberrações de baixa e alta ordem).

As variáveis dependentes correspondem ao valor do erro refrativo, pois no âmbito do projeto desta tese, espera-se verificar se este apresenta uma variação diurna e se algum dos COO é responsável por tal variação. As variáveis independentes incluem o CA, a PCA, a PIO, a CH e o CRF e as aberrações. Todas estas variáveis são dependentes entre si.

Em relação à PIO, esta foi dividida em PIOg, valor da pressão intraocular que não tem em consideração os parâmetros biomecânicos da córnea e em PIOcc, pressão intraocular que tem em consideração os parâmetros biomecânicos da córnea, normalmente denominada por pressão intraocular com correção.

O erro refrativo normalmente apresenta o valor da esfera, o astigmatismo e o eixo do astigmatismo. Para a realização das operações estatísticas sobre estes valores, a refração é expressa na forma de vetores de potência (M, J0 e J45).⁴²

Os valores dos vetores são calculados através das seguintes expressões matemáticas:

Equação 1: $M = S + C/2$ S: valor da esfera

Equação 2: $J0 = (-C/2) \cos (2\beta)$ C: valor do astigmatismo

Equação 3: $J45 = (-C/2) \sin (2\beta)$ β : eixo do astigmatismo

O componente M representa o equivalente esférico: soma do valor da esfera com metade do valor do astigmatismo. O J0 e o J45 representam a componente astigmática: o J0 representa a componente do astigmatismo no meridiano horizontal e vertical, sendo positivo para astigmatismo à regra e negativo para astigmatismo contra a regra; o J45 representa a componente do astigmatismo oblíquo, sendo positivo para astigmatismos cujo eixo está cerca dos 45° e negativo quando o eixo está aproximadamente nos 135°. ²

Ao longo da análise estatística apenas se utilizou as medidas efetuadas ao olho direito, uma vez que as diferenças estatisticamente significativas encontradas entre ambos os olhos eram pouco relevantes para o estudo. O teste estatístico utilizado, para verificar esta diferença entre os valores do OD e do OE, foi o teste *Wilcoxon*.

3.3.2 - Normalidade dos dados

Os testes de *Kolmogorov-Smirnov* e *Shapiro-Wilk* são dois testes utilizados em simultâneo para verificar se as distribuições da amostra apresentam ou não a normalidade dos dados.

O teste de ajustamento de *Kolmogorov-Smirnov* aplica-se quando se pretende verificar se a distribuição de uma variável se ajusta a uma distribuição teoricamente conhecida, como por exemplo, uniforme, *Poisson*, exponencial ou normal. No caso da distribuição normal é o teste de aderência de *Kolmogorov-Smirnov* com correção de *Lilliefors* que se aplica quando se conhecem os parâmetros populacionais, ou seja, média e desvio padrão. Em rigor, quando se tem uma amostra superior a 50 observações pode-se realizar o teste de *Kolmogorov-Smirnov* com correção de *Lilliefors* mesmo que não se conheçam os seus parâmetros populacionais.

O teste de *Shapiro-Wilk* aplica-se quando se tem uma variável quantitativa (continua ou tratada como tal) e se pretende verificar se a sua distribuição é normal. É o teste de aderência à normal mais robusto quando se tem pequenas amostras (número de sujeitos ≤ 50).³⁸

3.3.3 - Testes paramétricos e não paramétricos

Usualmente, os diferentes testes estatísticos são classificados em dois grandes grupos: testes paramétricos e não paramétricos.

Os testes paramétricos são utilizados quando se conhece a distribuição amostral (sendo a normal a mais comum) e quando a característica em estudo é quantitativa (ou tratada como tal). No entanto, alguns testes paramétricos requerem a verificação de outros pressupostos para a sua realização (por exemplo, a homogeneidade das variâncias).

Os testes não paramétricos são realizados como alternativa aos testes paramétricos para variáveis quantitativas quando não se verifica os pressupostos, quando não se conhece a distribuição amostral, ou quando as variáveis medidas estão numa escala nominal ou ordinal (qualitativas).³⁸

Os testes paramétricos serão identificados, ao longo da análise dos resultados, com um asterisco (*). Quando uma das variáveis não apresentar normalidade dos dados ou os pressupostos não foram cumpridos em pelo menos uma das variáveis analisadas, utilizar-se-á os testes não paramétricos, que serão identificados através de um sinal de mais (+).

3.3.3.1 - Testes paramétricos para amostras emparelhadas

a) ANOVA: Teste F (Tests of Between-Subjects Effects)

O teste paramétrico da ANOVA, em particular, o teste *Between-Subjects Effects*, utiliza-se para amostras emparelhadas e compara as médias entre três variáveis para os mesmos indivíduos, ou seja, compara as variáveis nos 3 períodos do dia: manhã, tarde e anoitecer. Este teste tem como pressupostos a normalidade e esfericidade das variáveis. O teste que verifica a esfericidade (*Mauchly's test*) é efetuado ao mesmo tempo que o teste *Between-Subjects Effects*. Quando a sua significância é superior a 0,05, então a variável possui esfericidade. Caso um destes pressupostos não se cumpra, utiliza-se o teste não paramétrico de *Friedman*.³⁸

Ao longo deste estudo as amostras foram consideradas emparelhadas, uma vez que se teve em consideração que os valores de cada variável correspondem ao mesmo sujeito.

b) T-Test

O teste paramétrico *t* para amostras emparelhadas aplica-se quando se têm duas variáveis quantitativas correlacionadas (medidas em escalas comparáveis) e se pretende comparar as suas médias para os mesmos indivíduos. Noutra perspetiva, têm-se duas amostras emparelhadas quando os dois conjuntos de observações são diferentes em apenas uma característica relevante. Este teste tem como pressupostos as variáveis apresentarem uma distribuição normal, o emparelhamento das amostras (todas se referem ao mesmo sujeito) e apresentarem uma correlação entre as variáveis (correlação linear de *Pearson*). Caso alguns destes pressupostos não se cumpra utiliza-se como alternativa o teste não paramétrico de *Wilcoxon*.³⁸

Este tipo de teste permite avaliar as amostras a cada dois períodos do dia: Manhã

versus Anoitecer, Tarde versus Anoitecer e Manhã versus Tarde.

3.3.3.2 - Testes não paramétricos para amostras emparelhadas

a) Wilcoxon

É considerado um teste não paramétrico para duas amostras emparelhadas, quando se pretende testar a igualdade de duas distribuições populacionais ou de outra forma, permite comparar as médias das ordenações das suas distribuições, ou seja, a cada dois períodos do dia. É utilizado como uma alternativa ao teste paramétrico (*t-test*) para a igualdade das médias de duas amostras emparelhadas, quando não se pode aplicar por violação de pressupostos ou como primeira opção, quando a variável em teste é uma qualitativa ordinal. Considera-se emparelhamento de amostras quando se pretende comparar duas características referentes ao mesmo indivíduo, ou seja, há relação entre as amostras.³⁸

b) Teste de Friedman

O teste de *Friedman* é um teste não paramétrico para amostras emparelhadas e utiliza-se quando se pretende verificar a igualdade de médias entre três distribuições populacionais, isto é, entre os três períodos do dia analisados. É utilizado como alternativa ao teste ANOVA, quando um dos seus pressupostos falha.

3.3.3.3 - Testes de correlação

Os testes aos coeficientes de correlação linear de *Pearson* (*r*) e correlação ordinal de *Spearman* (*rho*) aplicam-se quando se pretende testar se a relação entre duas variáveis existe. A medida a utilizar depende da escala de medida das duas variáveis: *Pearson* quando se têm duas variáveis quantitativas e normalmente distribuídas; e *Spearman* quando as duas variáveis são, pelo menos, ordinais e quando não seja possível assumir a normalidade dos dados. O *rho* de *Spearman* mede a associação entre as ordenações (rankings) das duas variáveis.³⁸

Pode-se encontrar os seguintes valores de r (coeficiente de correlação):

- ✓ $r = 1$, a correlação existente entre as duas variáveis é uma correlação perfeita positiva, isto é, uma variável aumenta com a outra;
- ✓ $r = -1$, a correlação existente entre as duas variáveis é uma correlação perfeita negativa, isto é, se uma variável aumenta, a outra diminui;
- ✓ $r = 0$, significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra (pode existir no entanto, uma dependência não linear).

Outra forma de se verificar a correlação das variáveis é utilizando a hipóteses do teste, neste caso considera-se:

H_0 : O coeficiente de correlação é igual a zero, isto é, não existe correlação entre as variáveis;

H_a : O coeficiente de correlação é diferente de zero, logo existe uma correlação entre as variáveis.

Regra de decisão:

Não rejeitar H_0	se $p > \alpha = 0,05$
Rejeitar H_0 (aceitar H_a)	se $p \leq \alpha = 0,05$

4.1 - Variação circadiana do erro refrativo

O valor da esfera equivalente (M) na amostra em estudo apresenta valores médios negativos ($-0,08 \pm 0,26$ D (média \pm desvio padrão)) no período da manhã, mantendo-se praticamente estável ao longo do dia, diminuindo ligeiramente ao anoitecer ($-0,07 \pm 0,41$ D). Pela tabela 2 verifica-se que esta variação diurna não é estatisticamente significativa ($p > 0,05$).

Tabela 2. Variação dos valores médios e desvio-padrão dos componentes do erro refrativo ao longo do dia e respetiva significância estatística.

Componentes do Erro refrativo	Manhã	Tarde	Anoitecer	<i>p</i>
M (D)	$-0,08 \pm 0,26$	$-0,08 \pm 0,40$	$-0,07 \pm 0,41$	0,231*
J0 (D)	$0,09 \pm 0,10$	$0,09 \pm 0,15$	$0,07 \pm 0,17$	0,002*
J45 (D)	$0,05 \pm 0,13$	$0,05 \pm 0,13$	$0,05 \pm 0,09$	0,063*

* ANOVA: Teste F (Tests of Between-Subjects Effects)

Em relação aos componentes do astigmatismo, o J0 e o J45 apresentam valores médios positivos ($J0 \geq 0,07 \pm 0,17$ D; $J45 \geq 0,05 \pm 0,13$ D). Perante este facto, pode-se afirmar que a amostra é maioritariamente constituída por indivíduos que possuem um astigmatismo situado no primeiro quadrante.

A variável J45 mantém-se praticamente constante ao longo do dia ($0,05 \pm 0,13$ D) (Figura 15). Através da análise estatística (Tabela 2) verifica-se que esta variável não apresenta qualquer variação significativa sobre os seus valores médios ($p > 0,05$).

Em relação à componente horizontal do astigmatismo, J0, observa-se uma variação circadiana estatisticamente significativa ($p \leq 0,05$). Ao longo do dia esta variável apresenta uma diminuição dos seus valores. Pela tabela 2 verifica-se que a maior flutuação (aproximadamente 0,02 D) ocorre entre o período da tarde ($0,09 \pm 0,15$ D) e o anoitecer ($0,07 \pm 0,17$ D). Na prática, esta flutuação representa uma diminuição do astigmatismo à regra ou um aumento do astigmatismo contra a regra ao longo do dia. Na anotação clínica verifica-se uma alteração da esfera em 0,02 D e no astigmatismo total de -0,04 D (conversão vetorial).

Assim, concluiu-se que as variáveis M e J45 não apresentam uma variação estatisticamente significativa dos seus valores ao longo do dia, no caso contrário, a variação da variável J0 apresenta uma variação diurna significativa.

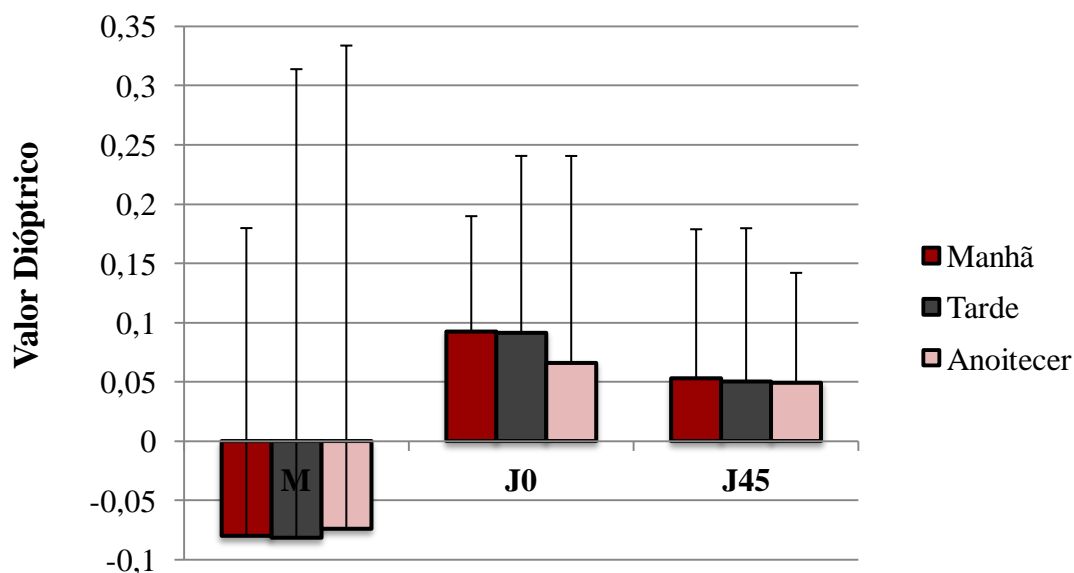


Figura 15 - Valores dióptricos médios dos componentes do erro refrativo ao longo do dia.

4.1.1 - Variação circadiana do atraso acomodativo

A avaliação do atraso acomodativo foi o único teste utilizado neste estudo para avaliar o estado acomodativo da amostra em análise. Em média todos os indivíduos apresentam um atraso acomodativo entre as $0,85 \pm 0,38$ D e as $0,90 \pm 0,44$ D (Tabela 3).

Tabela 3. Variação dos valores médios e desvio-padrão do atraso acomodativo ao longo do dia e respetiva significância estatística.

	Manhã	Tarde	Anoitecer	<i>p</i>
Atraso Acomodativo (D)	$0,90 \pm 0,44$	$0,88 \pm 0,45$	$0,85 \pm 0,38$	$< 0,001^*$

* ANOVA: Teste F (Tests of Between-Subjects Effects)

Ao se efetuar uma análise estatística sobre os dados recolhidos (Tabela 3), verificou-se que o atraso acomodativo apresenta uma variação significativa dos seus valores ao longo dos três períodos do dia analisados: manhã, tarde e anoitecer (*p*

<0,001). O atraso acomodativo diminui ao longo do dia, apresentando uma variação de 0,02 D entre o período da manhã e o período da tarde, e uma variação de 0,03 D entre o período da tarde e o anoitecer. Esta flutuação não exerce uma influência direta sobre o valor do erro refrativo, mas representa um aumento do esforço acomodativo ao longo do dia, e provavelmente, um aumento da sintomatologia associada, nomeadamente cansaço ocular e astenopia.

4.2 - Variação circadiana dos parâmetros oculares

Os parâmetros oculares analisados neste estudo foram a profundidade da câmara anterior, o comprimento axial, a pressão intraocular e as propriedades biomecânicas da córnea e as aberrações totais do olho.

4.2.1 - Variação circadiana dos componentes óticos oculares

Os componentes óticos oculares avaliados neste estudo foram o comprimento axial (CA) e a profundidade da câmara anterior (PCA) (Figura 16).

O comprimento axial médio na amostra na primeira medida do dia é de $23,35 \pm 0,53$ mm (Tabela 4). Os seus valores diminuem 0,04 mm do período da manhã para o da tarde e aumentam na mesma proporção do período da tarde para o anoitecer (Tabela 4). Através da análise estatística verifica-se que esta flutuação não é considerada significativa, assim pode-se afirmar que não existe uma variação circadiana do comprimento axial ($p = 0,339$).

Tabela 4. Variação dos valores médios e desvio-padrão do comprimento axial (CA), e da profundidade da câmara anterior (PCA), ao longo do dia e respetiva significância estatística.

	Manhã	Tarde	Anoitecer	<i>P</i>
CA	$23,35 \pm 0,53$	$23,31 \pm 0,49$	$23,35 \pm 0,52$	$0,339^+$
PCA	$3,13 \pm 0,61$	$3,34 \pm 0,49$	$3,15 \pm 0,48$	$< 0,001^*$

* ANOVA: Teste F (Tests of Between-Subjects Effects)

+ Teste de Friedman

A profundidade da câmara anterior, ao longo dos três períodos do dia, situa-se entre os $3,13 \pm 0,61$ mm e os $3,34 \pm 0,49$ mm. A PCA aumenta, aproximadamente 0,21 mm do período da manhã para o período da tarde e diminui cerca de 0,19 mm ao anoitecer, alcançando praticamente o seu valor inicial (Tabela 4). Estas variações ao longo do dia foram consideradas estatisticamente significativa ($p < 0,001$).

A maior variação diurna da profundidade da câmara anterior (0,21 mm) pode provocar uma alteração máxima sobre o erro refrativo de aproximadamente +0,33 D (Tabela 1 – Subcapítulo 2.2.1).

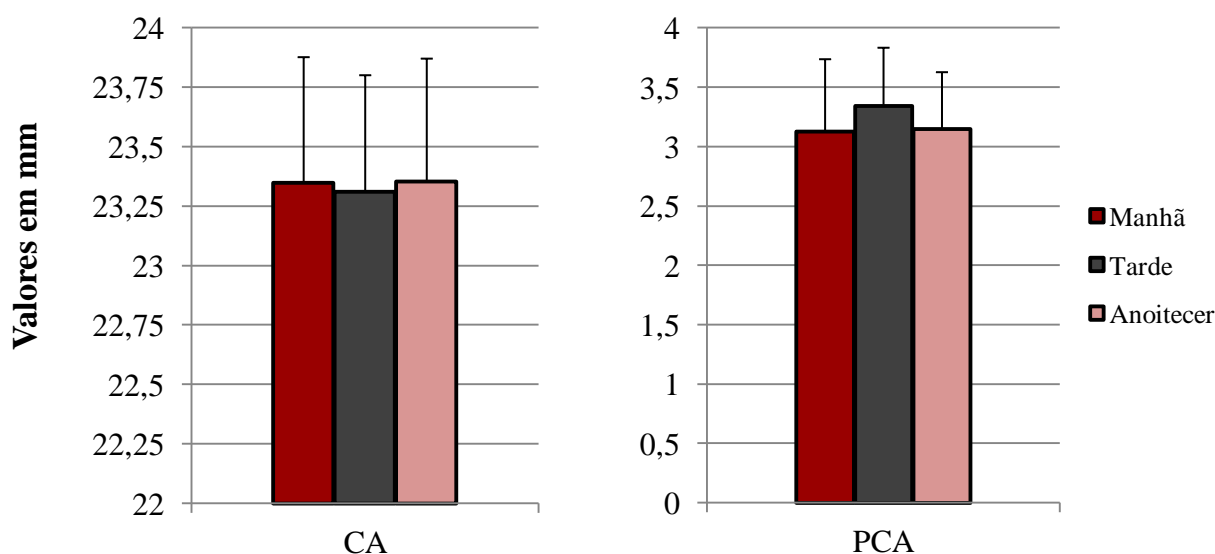


Figura 16 - Variação, em milímetros, do comprimento axial (CA) e da profundidade da câmara anterior (PCA) ao longo do dia.

4.2.2 - Variação circadiana da Pressão intraocular e das propriedades biomecânicas da córnea

Os valores da pressão intraocular (PIOcc e PIOg) foram analisados estatisticamente e representados graficamente (Figura 17).

O valor da pressão intraocular (PIOg) que tem em consideração as propriedades biomecânicas da córnea (CH e CRF) apresenta o seu maior valor (pico) no período da manhã e o seu mínimo no período da tarde, os seus valores médios situam-se entre os $13,27 \pm 1,98$ mmHg e os $12,64 \pm 2,77$ mmHg, respetivamente (Tabela 5).

Os valores médios da pressão intraocular com correção (PIOcc) situam-se entre os $13,36 \pm 2,13$ mmHg e os $13,97 \pm 2,68$ mmHg. Estes valores superam os valores apresentados pela pressão intraocular não corrigida (PIOg).

Tabela 5. Variação dos valores médios e desvio-padrão da Pressão intraocular (normal (PIOg) e corrigida (PIOcc)), fator de resistência (CRF) e histerese corneal (CH), ao longo do dia e respetiva significância estatística.

	Manhã	Tarde	Anoitecer	<i>P</i>
PIOg	$13,27 \pm 1,98$	$12,64 \pm 2,77$	$12,81 \pm 3,11$	$< 0,001^*$
PIOcc	$13,85 \pm 2,44$	$13,38 \pm 2,13$	$13,97 \pm 2,68$	$< 0,001^*$
CRF	$9,99 \pm 1,53$	$9,53 \pm 1,44$	$9,37 \pm 1,48$	$< 0,001^*$
CH	$10,53 \pm 1,23$	$10,22 \pm 1,12$	$10,12 \pm 1,12$	$< 0,001^*$

* ANOVA: Teste F (Tests of Between-Subjects Effects)

As variáveis, PIOg e PIOcc, apresentam o mesmo comportamento ao longo do dia: ambas apresentam uma diminuição estatisticamente significativa ($p < 0,001$) do período da manhã para o da tarde, aumentando depois ao anoitecer. A máxima flutuação ocorreu entre o período da manhã e o período da tarde, apresentando uma variação de 0,63 mmHg para a PIOg e de 0,59 mmHg para a PIOcc. É de salientar, que o aumento sofrido pela variável PIOcc do período da tarde para o anoitecer consegue superar o valor médio atingido no período da manhã (Figura 17).

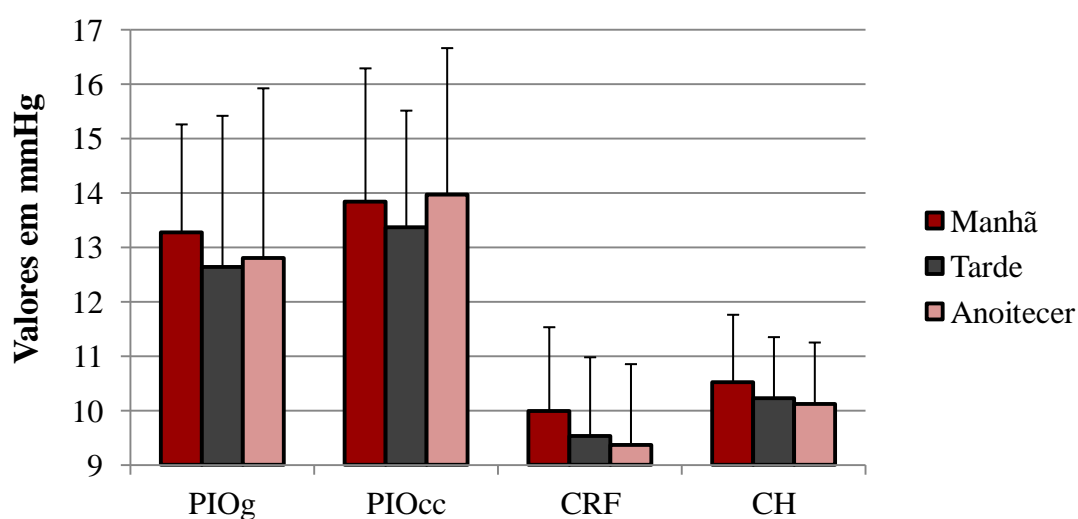


Figura 17 - Variação dos valores da Pressão intraocular (normal (PIOg) e corrigida (PIOcc)), fator de resistência (CRF) e histerese corneal (CH), ao longo dos três períodos do dia, respetivamente.

Os valores médios encontrados para as propriedades biomecânicas da córnea na primeira medida do dia foram de $9,99 \pm 1,53$ mmHg para o CRF e de $10,53 \pm 1,23$ mmHg para o CH.

Através da análise da tabela 5 verifica-se que a variação diurna das variáveis CH e CRF é considerada estatisticamente significativa ($p < 0,001$). Os valores médios da CRF diminuem aproximadamente 0,46 mmHg do período da manhã para o da tarde, diminuindo novamente ao anoitecer cerca de 0,16 mmHg. A variável CH apresentou uma diminuição dos seus valores médios ao longo do dia, verificando-se uma flutuação de 0,31 mmHg do período da manhã para o da tarde e uma flutuação de 0,10 mmHg da tarde para o anoitecer. É de salientar, que as maiores variações da CRF e da CH se registaram na transição do período da manhã para o da tarde, igualando o comportamento diurno observado na PIOg e PIOcc.

4.2.3 - Variação circadiana das aberrações oculares

As principais aberrações analisadas neste estudo estão representadas na tabela 6.

Tabela 6. Variação dos valores médios e desvio-padrão das aberrações corneais ao longo do dia e respetiva significância estatística.

Aberrações	Manhã	Tarde	Anoitecer	<i>p</i>
z (3 , -1)	0,013±0,111	0,014±0,110	-0,002±0,107	0,727*
z (3 , 1)	0,001±0,042	0,017±0,056	0,016±0,045	0,237*
z (4 , 0)	0,040±0,042	0,032±0,052	0,038±0,040	0,311 ⁺
Soma-Esférica	0,051±0,029	0,052±0,033	0,049±0,027	< 0,001*
Soma-Coma	0,100±0,065	0,109±0,061	0,101±0,060	0,304 ⁺
Astigmatismo 2ª ord.	0,037±0,016	0,039±0,015	0,034±0,019	0,688 ⁺
3ª ordem	0,147±0,098	0,161±0,080	0,154±0,081	0,717 ⁺
4ª ordem	0,081±0,044	0,081±0,040	0,075±0,032	0,596 ⁺
5ª ordem	0,040±0,030	0,041±0,029	0,043±0,024	0,717 ⁺
6ª ordem	0,029±0,013	0,031±0,012	0,034±0,019	0,467 ⁺
Total RMS	0,180±0,103	0,192±0,085	0,184±0,083	0,405 ⁺

* ANOVA: Teste F (Tests of Between-Subjects Effects)

+ Teste de Friedman

Todas as aberrações apresentam diversos comportamentos diurnos. O coma vertical, representado pelo coeficiente de Zernike (3, -1), e o coma horizontal (z (3, 1)) representam as aberrações com os menores valores da amostra ao longo do dia (Tabela 6).

As aberrações de 3ª ordem possuem os maiores valores na amostra, seguidas da aberração coma e das aberrações de 4ª ordem.

Pela análise gráfica (Figura 18), verifica-se que a cada aberração do olho possui um comportamento diurno diferente, por exemplo quando uma aberração apresenta uma diminuição dos seus valores durante a tarde, existe outras aberrações que aumentam ou diminuem, ou ainda, existe outras que se mantêm constantes ao longo do dia.

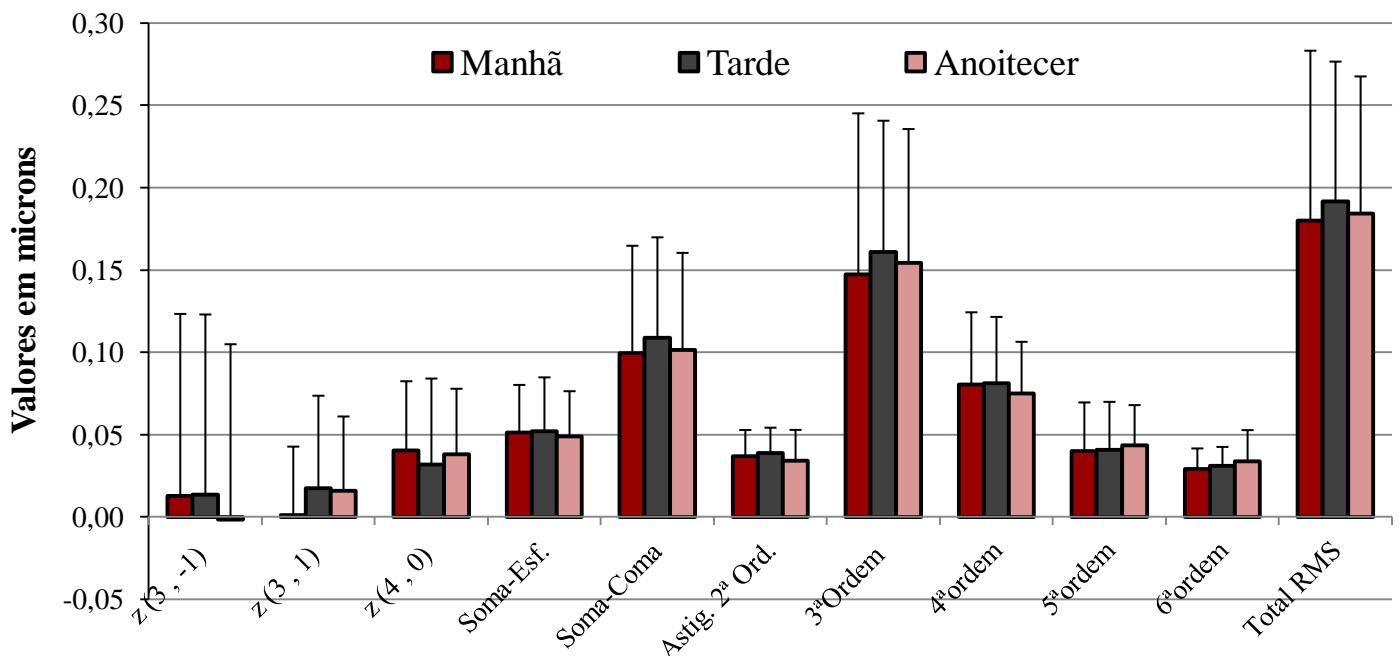


Figura 18 - Variação dos valores, em microns, das aberrações corneais, ao longo dos três períodos do dia.

Analisando mais profundamente os dados obtidos, através da tabela 6, observa-se que todos os valores de *p-value* possuem um valor maior que o nível de significância estabelecido ($\alpha = 0,05$), com a exceção da aberração esférica (*Soma-Esférica*). Esta aberração, que representa a soma de todas as aberrações esféricas, possui uma variação circadiana estatisticamente significativa ($p < 0,001$), aumentando do período da manhã para o da tarde (0,001 μm) e diminuindo ao anoitecer (0,003 μm). Em relações às outras

aberrações do olho não existem evidências estatísticas que comprovem uma variação diurna ($p > 0,05$).

Os resultados obtidos que não apresentaram diferenças estatisticamente significativas ao longo dos três períodos do dia analisados, foram submetidos a uma análise mais rigorosa, isto é, efectuaram-se testes estatísticos que analisam a variação dos valores médios a cada dois períodos do dia (Manhã versus Tarde; Tarde versus Anoitecer; Anoitecer versus Manhã). Mesmo assim, não foram encontradas quaisquer variações consideradas estatisticamente significativas.

4.3 - Correlações lineares existentes entre as variáveis estudadas

Os testes estatísticos utilizados para verificar a correlação existente entre as diversas variáveis analisadas no estudo, foram os testes de *Pearson* ou *Spearman*, caso as variáveis possuíssem ou não a normalidade dos dados.

Os testes de correlação de *Pearson* foram utilizados quando as duas variáveis correlacionadas apresentam uma distribuição normal. No caso da não normalidade dos dados de apenas uma das variáveis, utilizou-se o teste de *Spearman*.

As correlações encontradas entre as diversas variáveis apresentam um *p-value* inferior ao nível de significância fixado (0,05), indicando a existência de uma correlação entre elas durante os três períodos do dia (Tabela 7).

Tabela 7. Correlações estatisticamente significativas entre as variáveis estudadas nos três períodos do dia.

	<i>Manhã</i>		<i>Tarde</i>		<i>Anoitecer</i>	
Correlações	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
PIOg vs PIOcc	0,785*	< 0,001*	0,824*	< 0,001*	0,898*	< 0,001*
PIOg vs CRF	0,677*	0,003*	0,650*	0,002*	0,777*	< 0,001*
CRF vs CH	0,751*	< 0,001*	0,729*	< 0,001*	0,791*	< 0,001*

* Teste de Pearson

Pela própria definição de PIOcc e PIOg, era esperado que estas variáveis apresentassem uma correlação positiva entre elas, ao longo dos três períodos analisados.

Facto comprovável e observado através da tabela 7 ($r = 0,785$ e $p < 0,001$) . Assim, ambas as variáveis possuem uma relação de dependência, isto é, quando uma das variáveis aumentar ou diminuir, a outra também irá aumentar ou diminuir. A proporção do aumento ou diminuição para cada variável pode diferir devido à influência que as variáveis CH e CRF possuem sobre o valor da PIOcc.

As variáveis CH e CRF apresentam uma correlação positiva ($r > 0$) entre si, devido à instrumentalização utilizada neste estudo não conseguir diferenciar estas duas variáveis.

Observa-se também uma correlação positiva entre a PIOg e a CRF ($r > 0$), ou seja, quando o coeficiente do fator de resistência da córnea (CRF) aumentar ou diminuir ao longo do dia, a pressão intraocular sem correção (PIOg) vai apresentar a mesma direção de variação mas apresentará uma magnitude de flutuação diferente.

No período da tarde e do anoitecer observou-se uma correlação estatisticamente significativa ($p < 0,001^*$) entre o atraso acomodativo e o equivalente esférico (M). Estas duas variáveis variam em sentido contrário, ou seja quando uma variável diminuir, a outra variável aumentará ($r = -0,781$ no período da tarde; $r = -0,522$ ao anoitecer).

Capítulo 5 - Discussão

Este estudo teve como objetivo a averiguação de uma possível variação circadiana do erro refrativo e dos componentes oculares, de forma a ajudar o profissional clínico a estabelecer um horário de consultas, que evite possíveis problemas de adaptação à graduação prescrita. Assim, numa primeira fase avaliou-se a variação do erro refrativo ao longo do dia, e numa fase posterior, verificou-se a existência de uma variação diurna nos componentes oculares que possam exercer alguma influência sobre a variação dos valores médios do erro refrativo nos três períodos do dia analisados: manhã, tarde e anoitecer.

Analisando a variação circadiana do erro refrativo, decomposto nos vetores de potência (M, J0 e J45), verificou-se uma variação estatisticamente significativa apenas da componente astigmática, J0. Esta variável diminui ao longo do dia, apresentando uma flutuação máxima de 0,02 D do período da manhã ou tarde para o anoitecer. Em termos práticos, esta flutuação poderá representar uma diminuição do astigmatismo à regra ou um aumento do astigmatismo contra a regra.

Em relação ao valor do astigmatismo, a sua variação diurna (alteração da esfera em 0,02 D e no astigmatismo total de -0,04 D – anotação clínica) não será notória nos exames optométricos ou oftalmológicos devido às habituais escalas de graduação utilizarem intervalos de 0,25 D. Através da aberrometria, que tem em consideração uma variação do erro refrativo em escalas de intervalos menores, o astigmatismo de 2ª ordem e o coma não apresentaram qualquer variação circadiana estatisticamente significativa.

O atraso acomodativo, que mede a diferença entre a acomodação requerida para visualizar com nitidez o optotipo colocado a uma certa distância e o esforço acomodativo realmente efetuado, foi o único teste realizado para conhecer o estado acomodativo da amostra. Esta variável vai diminuindo ao longo do dia, podendo sofrer uma variação máxima de 0,05 D. Esta flutuação pode contribuir para um aumento do

cansaço ocular ou a uma falta de nitidez na imagem visualizada ao final do dia, isto porque, o indivíduo pode apresentar uma maior dificuldade em relaxar a acomodação. Este facto possui ainda uma maior relevância devido à correlação linear encontrada entre o atraso acomodativo e os valores médios do equivalente esférico (M) nos períodos da tarde e o anoitecer.

Apesar, de não se conhecer nenhum estudo que avaliasse a variação diurna da acomodação, em 1998, *Drexler et al.* verificou que a acomodação induzida (colocar o indivíduo a focar um objeto a 30 cm) e a amplitude de acomodação possuem uma correlação positiva com o comprimento axial. Observaram ainda que, a força efetuada sobre as fibras da Zónula de Zinn quando o indivíduo acomodava, ocasionava uma debilidade da esclera, proporcionando um aumento de aproximadamente 10 μm no comprimento axial.¹⁷ Em 2010, *Read et al.* verificaram que durante a acomodação a PIO diminuiu.³⁹ No presente estudo o atraso acomodativo não apresentou uma correlação linear com o comprimento axial ou com a PIO, uma vez que a metodologia utilizada não mediu o valor da acomodação, do CA e da PIO depois de um período de tempo prolongado em visão próxima.

Os componentes óticos oculares analisados neste estudo foram a profundidade da câmara anterior e o comprimento axial, ambos apresentaram valores considerados normais (Tabela 1) para o olho de um adulto saudável: o comprimento axial observado foi de aproximadamente 23,00 mm e os valores da profundidade da câmara anterior situaram-se entre os 3,10 mm e os 3,34 mm.

O comprimento axial manteve-se praticamente estável ao longo do dia, esta conclusão é divergente dos resultados apresentados por *Wilson et al.* e por *Stone et al.*, que verificaram uma variação sinoidal do CA ao longo do dia.^{11,29} Este último autor estabelece inclusive uma hora do dia para que o CA alcance o seu valor máximo (aproximadamente ao meio-dia).

No presente estudo a observação da variação diurna do CA foi realizada num período de 11 horas, no entanto, nos estudos referidos anteriormente, a recolha dos dados sucedeu-se num período de horas superior, 18h e 15h respetivamente.

Read et al., numa avaliação do CA ao longo de um dia (24 horas) encontraram uma flutuação máxima de 0,046 mm e uma correlação significativa entre a variação diurna do CA e da PIO.¹² A flutuação de 0,046 mm observada por este autor (dos três estudos^{11,12,29} referenciados é o que apresenta a maior flutuação do CA) poderia

proporcionar uma variação de aproximadamente -0,12 D no erro refrativo, se os outros COO se mantivessem constante.

No presente estudo, não foi encontrada qualquer correlação entre estas duas variáveis. Mesmo assim, o facto da inexistência de uma variação diurna do CA, não seria considerado como um fator na variação da PIO ao longo do dia.

A profundidade da câmara anterior apresentou uma variação circadiana estatisticamente significativa. O aumento de 0,21 mm na PCA entre o período da manhã e o período da tarde seria responsável pelo aumento da hipermetropia ou diminuição da miopia na ordem das 0,33 D, no entanto, a diminuição de 0,19 mm entre o período da tarde e o anoitecer provocaria uma diminuição da hipermetropia ou um aumento da miopia na ordem das 0,26 D (Tabela 1).

Assim, a amostra maioritariamente emetrope deveria ter ficado mais hipermetrope no período da tarde e mais míope ao anoitecer. Sabendo que os componentes oculares podem sofrer alterações simultâneas, é normal que outro componente ocular (as variações circadianas da curvatura e espessura corneal ou da PCV) tenha anulado este efeito, uma vez que não foi observada qualquer variação clinicamente significativa na refração ($< 0,25$ D). Devido à instrumentalização disponibilizada não foi possível averiguar uma possível variação diurna da PCV e respetivas correlações. Em relação às variações circadianas da espessura e curvatura corneal, todos estes dados foram perdidos durante uma manutenção efetuada ao computador anexado ao topógrafo, já depois da recolha de dados ter terminado.

A maior profundidade da câmara anterior foi encontrada no período da tarde. Estudos realizados por *Larsson and Brubaker* com o objetivo de conhecer as variações da PCA em animais, ao longo de 24 horas, verificaram que os seus valores máximos ocorreram 4% a mais à noite do que de manhã.²⁷ Em humanos, *Mapstone and Clark*, verificaram que a PCA e o seu volume foram significativamente mais baixas à noite do que pela manhã.²⁸ Este facto está relacionado com o número de medidas efetuadas e a hora em que eram realizadas, por exemplo, foram realizadas duas medidas, uma à meia-noite e outra ao meio-dia.

Uma vez que, o comprimento axial do olho depende da PCA e PCV, seria de esperar que quando uma destas distâncias lineares aumentasse ou diminuísse, o CA também seguisse a mesma tendência, facto que neste estudo não se evidenciou, como também não se tem vindo a demonstrar em estudos relacionados com o aparecimento e

desenvolvimento da miopia,² devido aos rearranjos existentes entre os diversos COO. É de salientar que, devido a limitações da instrumentalização utilizada neste estudo não se conseguiu apurar os valores da PCV ao longo do dia.

A pressão intraocular (PIOg) apresentou o seu máximo valor no período da manhã, estando de acordo com a maior parte dos estudos divulgados^{10,12,22,23,26} diminuindo ao longo do dia. Analisando o comportamento circadiano da pressão intraocular corrigida (PIOcc), verificou-se que a pressão adquiriu os seus máximos valores quer no período da manhã quer ao anoitecer.

A diferença entre os picos encontrados para a PIOg e a PIOcc pode ser explicado pela relação de interdependência entre as propriedades biomecânicas da córnea (CRF e CH) e a espessura corneal.

Através da análise estatística de correlação pode-se comprovar a existência de uma relação linear positiva entre a PIOg e a CRF, que por sua vez, apresentou uma correlação positiva com a CH. Este tema é alvo de algumas controvérsias: um estudo, efetuado por *Kida et al.*, verificou uma correlação positiva entre a espessura corneal central e a histerese corneal, ambas aumentaram nas primeiras horas do acordar e foram diminuindo ao longo do dia.²³ Em 2008, *González-Méijome et al.*, não observaram qualquer variação diurna da PIO e das propriedades biomecânicas da córnea, mas verificaram uma correlação entre estas duas variáveis, sugerindo que as variações diurnas da PIO podem em parte estar relacionadas com as mudanças no comportamento biomecânica da córnea.⁴⁵ Outros autores²⁶ também observaram que os valores da histerese corneal e da espessura corneal se mantêm praticamente estáveis ao longo do dia.

Outro parâmetro ocular analisado nesta investigação foi as variações circadianas das aberrações totais do olho, estudos até agora divulgados apenas observaram as variações diurnas das aberrações corneais.

Batista, na sua tese de mestrado,⁴⁰ verificou que cada coeficiente de Zernike afeta a acuidade visual de modo diferente: em cada ordem, as aberrações mais próximas do centro da árvore de Zernike (coma, aberração esférica, ...) tendem a afetar mais a acuidade visual que as localizadas próximo dos extremos da árvore (exemplo: trefoil, quadrafoil).

As aberrações totais do olho que ocorreram com uma maior magnitude, nesta investigação, foram as aberrações de 3ª ordem, que englobam o coma vertical, o coma

horizontal e o trefoil. *Read et al.*, encontraram uma conclusão semelhante para as aberrações corneais, evidenciando que esta ordem de aberração é a que mais contribui para um aumento das aberrações corneais.⁴

Na presente investigação, de todas as aberrações oculares, apenas a soma de todas as aberrações esféricas existentes no olho (*Soma-Esférica*) apresentou uma variação dos seus valores ao longo do dia. Apesar deste facto, a sua variação não foi suficiente significativa para produzir uma variação diurna nas aberrações totais do olho. *Batista* sugere que deve existir algum tipo de compensação entre as diferentes aberrações (todas elas contribuem, e apresentam alguma dependência entre elas) para um exista um equilíbrio total.⁴⁰

Mierdel et al., em 2005 analisou as variações diurnas das aberrações corneais, e verificou que apenas existiu uma variação circadiana no coeficiente Z (4, 2), apresentando uma flutuação de 0,016 μm . Esta variação, devido à magnitude do valor, não apresenta consequências diretas sobre as práticas clínicas (graduação ou cirurgias). Neste estudo observou-se ainda, uma regressão linear entre alguns coeficientes de Zernike e a PIO e a espessura da córnea central durante o dia, ou seja, as alterações de alguns coeficientes de Zernike durante o dia pode ser explicado pelo comportamento biomecânico da córnea.⁴¹

Concluiu-se assim, que as variações circadianas existentes nos COO, na PIO e na aberrometria não provocam alterações clinicamente significativas no valor da variação diurna do erro refrativo. Em qualquer período do dia analisado, as variações do erro refrativo não serão evidenciadas na refração do indivíduo (variação < 0,25 D). Embora se possa relacionar os sintomas de desconforto ou cansaço ocular, muitas vezes mencionados ao final do dia, com a variação diurna do atraso acomodativo.

Neste estudo o estado acomodativo dos indivíduos apenas foi avaliado pelo atraso acomodativo, outros exames acomodativos deveriam ter sido utilizados de forma a averiguar mais profundamente as alterações circadianas da acomodação.

Alguns dos parâmetros oculares podem não ter demonstrado uma variação circadiana significativa, devido a apenas se ter efetuado três medições ao longo do dia e o tempo entre a recolha de dados ser reduzidos (apenas 11 horas do dia).

Na análise dos resultados utilizou-se sempre a comparação dos valores médios de cada variável para cada período do dia, averiguando as diferenças entre os valores obtidos para cada indivíduo em cada fase do dia, verifica-se que existem variações clinicamente significativas (maiores que 0,50D) no máximo em 20% dos indivíduos. Esta análise não mostra como a população em geral se comporta (amostra muito pequena), mas pode levar o profissional a ter uma maior sensibilidade no momento da prescrição.

Devido à instrumentalização utilizada, não se conseguiu avaliar as variações circadianas de todos COO, de forma a explicar qual o padrão por eles adaptado, para que quando um dos COO varia, exista outro que varie na proporção contrária. O facto de se ter utilizado vários instrumentos para medir cada parâmetro ocular, gerou alguns transtornos aos participantes, devido às repetidas medições e ao tempo prolongado de recolha dos dados.

Uma vez que, no presente estudo, se verificou uma variação circadiana da componente do astigmatismo (J0) seria interessante averiguar estas flutuações diurnas numa amostra que incluísse astigmatismos moderados ou altos. No caso da variação diurna do atraso acomodativo era curioso verificar qual a sua magnitude de flutuação numa amostra constituída apenas por hipermetropes ou pseudomiopes.

Uma forma de averiguar um número maior de parâmetros oculares sem provocar algum cansaço aos participantes e reduzindo o tempo de recolha das medidas é sugerido, a utilização de um biómetro desenvolvido pela Haag Streit, denominado *Lenstart 900*. Este instrumento permite obter valores fiáveis da PCA, PCV, CA, espessura da córnea, curvatura corneal, astigmatismo corneal, espessura do cristalino, espessura da retina e coroide. Com este instrumento pode-se avaliar ao mesmo tempo todos os COO referidos, como também a espessura da retina e coroide que também têm demonstrado variações diurnas que influenciam o crescimento do olho, em animais.^{31,33,34}

Em futuras investigações seria interessante comparar as variações diurnas do erro refrativo entre indivíduos assintomáticos e indivíduos que apresentem problemas acomodativos ou binoculares.

Capítulo 6 - Conclusão

A realização deste estudo tinha como principais objetivos a análise das variações diurnas do erro refrativo e de outros parâmetros oculares.

O erro refrativo decomposto nos vetores de potência não apresentou qualquer variação dos seus valores médios ao longo dos três períodos do dia analisados: manhã, tarde e anoitecer.

A profundidade da câmara anterior, a pressão intraocular, as propriedades biomecânicas da córnea e a aberração esférica apresentaram uma variação circadiana estatisticamente significativa. Estas flutuações não produziram nenhum impacto na variação diurna do erro refrativo médio da amostra.

Ao longo deste trabalho, verificou-se uma correlação negativa entre o atraso acomodativo e o equivalente esférico ao longo da tarde e anoitecer, esta correlação indica que uma diminuição da acomodação ao longo do dia pode ser responsável por um aumento do valor da esfera equivalente, mesmo que esta flutuação não se tenha demonstrado quer clinicamente ou estatisticamente significativa.

Outro objetivo deste estudo era determinar qual a melhor altura do dia para a realização de um exame visual. Sendo que não existiu uma variação do erro refrativo que possa ser medida (intervalos de graduação de 0,25D) ou compensada pelo métodos habituais (utilização de óculos ou lentes de contato com intervalos menores que 0,25 D), concluindo-se que o exame optométrico ou oftalmológico se poderá realizar a qualquer hora do dia.

No presente estudo, não se verificou alterações circadianas do erro refrativo que sejam clinicamente relevantes, mas as variações diurnas presentes no atraso acomodativo e no astigmatismo poderão indicar um aumento da sintomatologia ao final do dia.

Capítulo 7 - Bibliografia

1. Brown NP, Koretz JF, Bron AJ. The development and maintenance of emmetropia. *Eye* (London, England). 1999;13 (Pt 1):83-92.
2. Jorge, Jorge Manuel Martins. Preditores das alterações visuais em jovens universitários. 2006.
3. Kiely PM, Carney LG, Smith G. Diurnal variations of corneal topography and thickness. *American journal of optometry and physiological optics*. 1982;59(12):976-82.
4. Read S, Collins MJ, Carney LG. The diurnal variation of corneal topography and aberrations. *Cornea*. 2005;24(6):678-87.
5. Read SA, Collins MJ. Diurnal Variation of Corneal Shape and Thickness. *Optometry and Vision Science*. 2009;86(3):170-180.
6. Giráldez-Fernández MJ, Díaz-Rey A, García-Resua C, Yebra-Pimentel-Vilar E. Variaciones diurnas de espesor y curvatura corneal central y paracentral. *Arch Soc Esp Oftalmol* 2008; 83:183-192.
7. du Toit R, Vega JA, Fonn D, Simpson T. Diurnal variation of corneal sensitivity and thickness. *Cornea*. 2003;22(3):205-9.
8. Krause K, Taege A. Diurnal fluctuations in human refraction. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*. 1988;192(1):53-7.
9. Frampton P, Da Rin D, Brown B. Diurnal variation of intraocular pressure and the overriding effects of sleep. *American journal of optometry and physiological optics*. 1987;64(1):54-61.
10. David R, Zangwill L, Briscoe D, et al. Diurnal intraocular pressure variations: an analysis of 690 diurnal curves. *The British journal of ophthalmology*. 1992;76(5):280-3.
11. Stone RA, Quinn GE, Francis GY, et al. Diurnal Axial Length Fluctuations in Human Eyes. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2004;45(1):63-70.
12. Read SA, Collins MJ, Iskander DR. Diurnal variation of axial length, intraocular pressure, and anterior eye biometrics. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2008;49(7):2911-8.

- 13.** Kaluzny BJ. Anterior movement of the crystalline lens in the process of accommodation in children. *European journal of ophthalmology*. 17(4):515-20.
- 14.** Read SA, Collins MJ, Woodman EC, Cheong SH. Axial length changes during accommodation in myopes and emmetropes. *Optometry and vision science: official publication of the American Academy of Optometry*. 2010;87(9):656-62.
- 15.** Buehren T, Collins MJ, Carney L. Corneal aberrations and reading. *Optometry and vision science: official publication of the American Academy of Optometry*. 2003;80(2):159-66.
- 16.** Collins MJ, Buehren T, Bece A, Voetz SC. Corneal optics after reading, microscopy and computer work. *Acta ophthalmologica Scandinavica*. 2006;84(2):216-24.
- 17.** Drexler W, Findl O, Schmetterer L, Hitzenberger CK, Fercher AF. Eye elongation during accommodation in humans: differences between emmetropes and myopes. *Investigative ophthalmology & visual science*. 1998;39(11):2140-7.
- 18.** Atchison DA, Markwell EL, Pope JM, Swann PG. Age-related changes in optical and biometric characteristics of emmetropic eyes. *Journal of Vision*. 2008;8:1-20.
- 19.** Leat SJ, Gargon JL. Accommodative response in children and young adults using dynamic retinoscopy. *Ophthalmic & physiological optics: the journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*. 1996;16(5):375-84.
- 20.** Benjamin WJ. *Borish Clinical Refraction*. Saunders Company. Philadelphia; 1998.
- 21.** Villa-Collar C, Anera RG, Lopez-Gil N, Merayo Lloves J, Zarzuelo GR, Parcerisas JG. *Aberraciones Oculares - aspectos clínicos*. ICM. Madrid; 2005.
- 22.** Kanski JJ. *Oftalmología Clínica*. 5th ed. Elsevier.
- 23.** Kida T, Liu JHK, Weinreb RN. Effect of 24-hour corneal biomechanical changes on intraocular pressure measurement. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2006;47(10):4422-6.
- 24.** Wolfs RC, Klaver CC, Vingerling JR, et al. Distribution of central corneal thickness and its association with intraocular pressure: The Rotterdam Study. *American journal of ophthalmology*. 1997;123(6):767-72.
- 25.** Eysteinnsson T, Jonasson F, Sasaki H, et al. Central corneal thickness, radius of the corneal curvature and intraocular pressure in normal subjects using non-contact techniques: Reykjavik Eye Study. *Acta ophthalmologica Scandinavica*. 2002;80(1):11-5.
- 26.** Laiquzzaman M, Bhojwani R, Cunliffe I, Shah S. Diurnal variation of ocular hysteresis in normal subjects: relevance in clinical context. *Clinical & experimental ophthalmology*. 2006;34(2):114-8.

- 27.** Larsson LI, Brubaker RF. Diurnal change of anterior chamber depth in rabbits. *Acta ophthalmologica Scandinavica*. 1995;73(6):534-6.
- 28.** Mapstone R, Clark CV. Diurnal variation in the dimensions of the anterior chamber. *Archives of ophthalmology*. 1985;103(10):1485-6.
- 29.** Wilson LB, Quinn GE, Ying Gui-shuang, et al. The relation of axial length and intraocular pressure fluctuations in human eyes. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2006;47(5):1778-84.
- 30.** Nickla DL, Wildsoet C, Wallman J. Visual influences on diurnal rhythms in ocular length and choroidal thickness in chick eyes. *Exp Eye Res*, 1998; 66(2):163-81.
- 31.** Weiss S, Schaeffel F. Diurnal growth rhythms in the chicken eye: relation to myopia development and retinal dopamine levels. *Journal of comparative physiology. A Sensory, neural, and behavioral physiology*. 1993;172(3):263-70.
- 32.** Nickla DL. The phase relationships between the diurnal rhythms in axial length and choroidal thickness and the association with ocular growth rate in chicks. *Journal of comparative physiology. A, Neuroethology, sensory, neural, and behavioral physiology*. 2006;192(4):399-407.
- 33.** Nickla DL, Wildsoet CF, Troilo D. Diurnal rhythms in intraocular pressure, axial length, and choroidal thickness in a primate model of eye growth, the common marmoset. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2002;43(8):2519-28.
- 34.** Brown JS, Flitcroft DI, Ying Gui-shuang, et al. In vivo human choroidal thickness measurements: evidence for diurnal fluctuations. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2009;50(1):5-12.
- 35.** Maroco J. Análise estatística com utilização de SPSS. 3rd ed. Sílabo. 2007.
- 36.** Melo FG. Probabilidades e estatística: Conceitos e métodos fundamentais. Escolar. 1997.
- 37.** Pestana D, Velosa S. Introdução à probabilidade e estatística. Fundação Calouste Gulbenkian. 2006.
- 38.** Laureano RMS. Testes de Hipóteses com o SPSS. Sílabo. 2011.
- 39.** Read SA, Collins MJ, Becker H, et al. Changes in intraocular pressure and ocular pulse amplitude with accommodation. *The British journal of ophthalmology*. 2010;94(3):332-5.
- 40.** Batista IRP. Aberrações Oculares associadas ao uso de lentes de contacto hidrofílicas mensais. 2007.
- 41.** Cheng ACK, Lam DSC. Diurnal fluctuation of higher order ocular aberrations: correlation with intraocular pressure and corneal thickness. *Journal of refractive surgery (Thorofare, N.J. : 1995)*. 21(2):201.

- 42.** Thibos LN, Wheeler W, Horner D. Power vectors: an application of Fourier analysis to the description and statistical analysis of refractive error. *Investigative ophthalmology & visual science*.1997; 74: 367-375.
- 43.** Bennet & Rabbetts, *Clinical Visual Optics*. Rabbetts RB.; pp. 125-153; Butterworth Heinemann Elsevier, London 2007.
- 44.** <http://www.stat.ubc.ca/~rollin/stats/ssize/>. 15.02.2011
- 45.** González-Méijome JM, Queirós A, Jorge J, Díaz-Rey A, Parafita MA. Intraoffice variability of corneal biomechanical parameters and intraocular pressure (IOP). *Investigative ophthalmology & visual science*. 2008 Jun;85(6):457-62.
- 46.** Reynolds DR, Poynter HL. Diurnal variation in central corneal curvature. *Am J Optom Arch Am Acad Optom*. 1970; 47:892-9.
- 47.** Rengstorff RH. An investigation of overnight changes in corneal curvature. *J Am journal Optom aSSOC*. 1968; 89:262-5.
- 48.** Rengstorff RH. Diurnal constancy of corneal curvature. *Am J Optom Arch Am Acad Optom*. 1972; 49:1002-5.
- 49.** Manchester PT. Hydration of the cornea. *Trans Am Ophthalmol Soc*. 1970; 68:425-61.
- 50.** Mishima S. Corneal thickness. *Surv Ophthalmol*. 1968; 13: 57-96.
- 51.** Rom ME, Keller WB, Meyer CJ et al. Relationship between corneal edema and topography. *CLAO J*. 1995; 21:191-194.
- 52.** Lieberman DM, Grierson JW. The lids influence on corneal shape. *Cornea*. 2000; 19: 336-342.

Anexos

Anexo 1 - Consentimento informado

Anexo 2 - Ficha Clínica

Anexo 3 - Inquérito realizado na anamnese

CONSENTIMENTO INFORMADO

RECOLHA E DIVULGAÇÃO DE DADOS DE SAÚDE OCULAR

A participação neste estudo tem como objetivo avaliar a variação diurna dos diferentes componentes oculares e do erro refrativo. Nenhum dos procedimentos de medida efetuados, colocarão em risco a saúde ocular do participante. A recolha dos parâmetros oculares irá ser efetuada ao longo do mesmo dia, em três alturas distintas. A primeira medida realiza-se no início da manhã, outra no início da tarde e outra ao anoitecer. Na divulgação dos dados recolhidos é garantido a ocultação de dados de identificação do participante. O participante que decidir, por livre vontade, aceitar participar neste estudo, tem sempre a possibilidade de o abandonar sem qualquer restrição ou consequências.

Nome legível da investigadora responsável pela proposta:

Teresa Mafalda Alves Bastos Peixoto

Data/...../.....

Assinatura

$$+ - + - + - + -$$

Por favor, leia com atenção todo o conteúdo deste documento. Não hesite em solicitar mais informações, se não estiver completamente esclarecido. Verifique se todas as informações estão corretas. Se entender que tudo está em conformidade e se estiver de acordo com a proposta que lhe é feita, então assine este documento.

- Declaro ter compreendido os objetivos quando me foi proposto e explicado pela investigadora Teresa Peixoto, que assina este documento, ter-me sido dada oportunidade de fazer todas as perguntas sobre o assunto e para todas elas ter obtido resposta esclarecedora. Autorizo, assim, o ato acima referido.

(localidade) / / NOME

Ficha de Registo de Dados

Ficha n.º: _____

Data: ____/____/____

EXAME BINOCULAR E ACOMODATIVO

Foria: VL: _____ VP: _____ Atraso acomodativo: _____

ANAMNSE:

Data de nascimento: ____/____/____

Nome: _____ Telef./Tlm: _____

Idade: _____

Profissão: _____ Utiliza pc: _____ Média de
h/dia: _____

Fuma: _____ Rotina do dia: _____

—

Hora: ____:____ Período: Manhã

Hora que se levantou: _____ Quantas horas dormiu: _____

EXAMES COMPLEMENTARES:

Biometria: OD: PCA: _____ CA: _____ mm

OE: PCA: _____ CA: _____ mm

Hora: ____:____ Período: Tarde

EXAMES COMPLEMENTARES:

Biometria: OD: PCA: _____ CA: _____ mm

OE: PCA: _____ CA: _____ mm

Hora: ____:____ Período: Anoitecer

EXAMES COMPLEMENTARES:

Biometria: OD: PCA: _____ CA: _____ mm

OE: PCA: _____ CA: _____ mm

Inquérito efetuado na anamnese

1. A que horas acordou hoje?
2. Quantas horas dormiu hoje?
3. Utiliza frequentemente o computador no seu dia a dia? Em média, quantas horas por dia utiliza o computador?
4. Hoje vai utilizar o computador? Quantas(os) horas (minutos) pensa utilizar o computador, em cada período do dia (Manhã, Tarde e Anoitecer)?
5. Quando efetuou a última atualização dos seus óculos?
6. Possui, a nível de saúde geral, alguma patologia? Exemplo, diabetes, colesterol ou hipertensão.
7. É fumador?
8. Atualmente está a tomar alguma medicação? Qual medicação e para que problema se destina?
9. Possui algum tipo de alergias?
10. Possui ou já apresentou alguma patologia ocular? Exemplo, conjuntivites, traumas ou blefarites.

